

สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดในเตรตในน้ำทะเล ด้วยระบบบำบัดในเตรตแบบท่อสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล



นางสาววิลาสินี ไตรยราช

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5224-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMIZATION OF NITRATE TREATMENT SYSTEM FOR MARINE SHRIMP CULTURE TANK  
USING THE TUBULAR DENITRIFICATION REACTOR

Miss Wilasinee Triyarat



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science(Inter-department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5224-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดในเตรตในน้ำทะเล ด้วยระบบบำบัด ในเตรตแบบท่อสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล
โดย	นางสาว วัลลภินี ไตรยราช
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข)

..... กรรมการ  
(ดร.พอล อรัญยกานนท์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภาวนันท์)

วไลสินี ไตรยราช : สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดไนเตรตในน้ำทะเล ด้วยระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล. (OPTIMIZATION OF NITRATE TREATMENT SYSTEM FOR MARINE SHRIMP CULTURE TANK USING THE TUBULAR DENITRIFICATION REACTOR) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศ. ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข, 103 หน้า. ISBN 974-17-5224-5

การทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวที่สร้างขึ้นจากท่อสายยาง PVC ความยาว 50 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.5 เซนติเมตร ภายในบรรจุวัสดุพลาสติกทรงกลม “ไบโอบอล” จำนวน 2,860 ลูก และมีการเติมเมธานอลความเข้มข้นร้อยละ 5 ในอัตราเร็ว 10 มิลลิลิตร/ชั่วโมง เป็นแหล่งคาร์บอนเข้าที่ตอนต้นของท่อ โดยการเติมเมธานอลจะถูกควบคุมโดยอัตโนมัติจากค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ที่มีการตรวจวัดจากหัวตรวจวัดบริเวณปลายท่อ เมื่อมีการปรับตั้งระบบให้หยุดเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP ลดต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ทำให้ระบบท่อยาวสามารถบำบัดไนเตรตได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่มีการสะสมไนไตรต์และไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่าร้อยละ 80

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดไนเตรต โดยนำระบบบำบัดไนเตรตติดตั้งกับระบบบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำประกอบด้วยบ่อรูปกลม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร) เป็นบ่อเลี้ยงกุ้งและเชื่อมต่อกับบ่อบำบัดไนไตรท์เคชัน มีปริมาตรน้ำความเต็ม 25 พิเอสยู รวมทั้งระบบประมาณ 6,200 ลิตร และมีการหมุนเวียนน้ำระหว่างบ่อเลี้ยงและบ่อบำบัดตลอดเวลา ทำให้แอมโมเนียที่กุ้งขับถ่ายออกมาเปลี่ยนเป็นไนเตรตได้อย่างรวดเร็ว ในการทดลองได้จัดระบบเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ดังกล่าว 1 ชุด เป็นชุดทดลองที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว เปรียบเทียบกับบ่อควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวทำการทดลองเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 7 เดือน (210 วัน) โดยใช้กุ้งอายุ 4 เดือนที่จับมาจากบ่อดินจำนวนบ่อละ 50 ตัว และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระบบบำบัดไนเตรตสามารถควบคุมปริมาณไนเตรตได้เป็นอย่างดี โดยบ่อชุดทดลองมีความเข้มข้นไนเตรตต่ำกว่า 20 มิลลิกรัม ไนโตรเจน/ลิตร ในขณะที่บ่อควบคุมมีการสะสมไนเตรตสูงกว่า 80 มิลลิกรัม ไนโตรเจน/ลิตร และกุ้งในชุดทดลองมีการเพิ่มของน้ำหนักกุ้งจาก 24 กรัมเป็น 58 กรัม มีอัตราการรอดร้อยละ 54 และมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยเป็น 0.16 กรัม/วัน ในขณะที่บ่อควบคุมมีการเพิ่มของน้ำหนักจาก 24 กรัมเป็น 63 กรัมมีอัตราการรอดร้อยละ 38 และมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยเป็น 0.19 กรัม/วัน จะเห็นได้ว่ากุ้งในชุดควบคุมมีอัตราการรอดต่ำกว่าชุดทดลอง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ระบบบำบัดไนเตรตในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในโรงเรือนได้เป็นอย่างดี

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
ปีการศึกษา.....2546..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4589153720 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : DENITRIFICATION/ NITRIFICATION/ NITRATE TREATMENT/ NITRATE REMOVAL/ CLOSED RESIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM/ OXIDATION-REDUCTION POTENTIAL/ ORP

WILASINEE TRIYARAT : OPTIMIZATION OF NITRATE TREATMENT SYSTEM FOR MARINE SHRIMP CULTURE TANK USING THE TUBULAR DENITRIFICATION REACTOR THSIS ADVISOR : PIAMSAK MENASVETA, Ph.D.THSIS CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D. 103 pp. ISBN 974-17-5224-5

This study illustrates the efficiency of tubular nitrate treatment system made of 50 m length PVC tube (2.5 cm in diameter) plastic containing 2,860 bioballs. Methanol, 5% concentration with 10 ml/hr feeding rate, was fed into the fore-part of the reactor as the sole carbon source. Addition of methanol was regulated by oxidation-reduction potential (ORP) controller via ORP probe connected at the end of the tubular reactor. With proper setting, denitrification reactor could be operated without nitrite accumulation and methanol feeding was automatically stopped when ORP reached below the setting point to prevent hydrogen sulfide production. The nitrate removal efficiency achieved was over 80%

Two indoor shrimp broodstock culture systems with closed recirculating seawater were used in this study. Each system consisted of round culture tank (diameter=3 m) connected with the nitrification tank. Water volume of each system was 6,200 L. Seawater (25 PSU) was recirculated between these two tanks so ammonia excreted from shrimp was rapidly converted to nitrate via nitrification treatment. With the experiment, 50 shrimps collected from outdoor shrimp pond were culture in each system for 7 months (210 days) without water exchange. It was found that tubular denitrification reactor performed excellent nitrate treatment. At the end of the experiment, nitrate concentration in treatment tank (with nitrate treatment system) was less than 20 mg-N/L while nitrate in control tank reached over 80 mg-N/L. Average weight of shrimp in treatment tank increased from 24 g to 58 g with average daily growth of 0.16 and 54% survival rate while average weight of shrimp in control tank increased from 24 g to 63 g with average daily growth of 0.19 and 38% survival rate. These results suggested the possibility of using nitrate treatment system for shrimp broodstock culture in the indoor closed recirculating seawater system.

Field of study ..... Environmental Science .....

Student's signature .....

Academic year..... 2003 .....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ หากไม่ได้รับความกรุณาอย่างสูง จากท่าน ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต ซึ่งได้ให้ความกรุณาเป็นอย่างยิ่งในการรับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และเป็นผู้ที่ให้คำแนะนำวิธีการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และนอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนความช่วยเหลือในการติดตั้งระบบ การดำเนินการทดลอง และยังได้ให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โขมิตานนท์ ดร.พอจำ อรรถกานนท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภาสันต์ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาให้ความรู้ทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆตลอดมา

ขอขอบคุณนักวิจัย เจ้าหน้าที่ และนิสิต ที่ปฏิบัติงานในหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่และอุปกรณ์รวมถึงสารเคมีในการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุน ในงานวิจัย คือ ทุนพัฒนาบุคลากรระดับปริญญาโท-เอก และทุนสนับสนุนโครงการวิจัยระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวสำหรับบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณยาย ญาติพี่น้อง รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ ที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ครอบครัวพุ่มศิริทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีทุกครั้งเมื่อเกิดปัญหา และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัย.....	4
2.1.ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Closed recirculating systems) สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	4
2.2.คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	4
2.3.กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....	8
2.4.สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ.....	9
2.5.ผลกระทบของไนเตรตต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม.....	10
2.6.ผลกระทบไนเตรตที่มีต่อสัตว์น้ำ.....	10
2.7.กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ.....	11
2.8.ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	15
2.9.ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) กับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน.....	17
2.10.ระบบบำบัดไนเตรตเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	18
2.11.ชีววิทยาของกิ้งกูดาค่า.....	19
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	21
3.1.การเตรียมระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อ.....	21

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.ศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมของ ระบบบำบัดในเตรตแบบท่อโดยใช้น้ำเสีย จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด.....	22
3.3.ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อโดยบำบัดน้ำ จากบ่อเลี้ยงกุ้งพ่อแม่พันธุ์ในสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษา.....	26
3.4.วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	34
4. ผลการทดลอง.....	40
4.1.การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตรตอย่างมีประสิทธิภาพ ของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ โดยใช้น้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด.....	40
4.2.ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อโดยบำบัดน้ำ จากบ่อเลี้ยงกุ้งพ่อแม่พันธุ์.....	50
5. วิจัยผลการทดลอง.....	69
5.1.สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดในเตรต ด้วยระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาว.....	69
5.2.การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเตรต สำหรับบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ.....	70
5.3.สมดุลไนโตรเจน.....	73
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	103



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2-1	7
ระดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีผลต่อกุ้งกุลาดำ.....	
ตารางที่ 3-2	24
สถานะของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ ที่มีระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่ใช้ในการศึกษานี้.....	
ตารางที่ 3-3	27
การตรวจสอบคุณภาพน้ำระหว่างการศึกษาประสิทธิภาพ ของระบบบำบัดไนเตรตในการบำบัดไนเตรตในน้ำ ของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ.....	
ตารางที่ 3-4	32
การทดลองปรับเปลี่ยนค่า ORP ในโปรแกรมระบบควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติ.....	
ตารางที่ 4-5	54
ผลสรุปคุณภาพน้ำเปรียบเทียบระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งชุดควบคุมและชุดทดลอง.....	
ตารางที่ 4-6	65
ตารางสรุปผลอัตราการรอดของกุ้งในชุดควบคุม.....	
ตารางที่ 4-7	66
ตารางสรุปผลการรอดของกุ้งในชุดทดลอง (มีระบบบำบัดไนเตรต).....	
ตารางที่ 4-8	66
อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในชุดควบคุม.....	
ตารางที่ 4-9	67
อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในชุดทดลอง (มีระบบบำบัดไนเตรต).....	
ตารางที่ 4-10	68
ปริมาณไนโตรเจนที่มีการนำเข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงกุ้งตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	
ตารางที่ 4-11	68
ปริมาณไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง ณ วันที่ 200 ของการทดลอง.....	
ตารางที่ 4-12	68
ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในชุดควบคุม และปริมาณไนโตรเจนที่ลดลงในชุดทดลอง.....	

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2-1 การหมุนเวียนสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ตัดแปลงจาก (วิรัช จิวแหยม, 2544).....	15
ภาพที่ 3-2 (ก และ ข) ไคอะแกรมและภาพถ่ายของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ ในงานวิจัยนี้ (1) พลาสติกทรงกลม (bioball) บรรจุภายในสายยาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 2,860 ลูก (2) เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย สำหรับเติมเมธานอลให้กับระบบ (3) หัวตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน.....	22
ภาพที่ 3-3 ไคอะแกรมการติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ เข้ากับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่มีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.....	23
ภาพที่ 3-4 การติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อต่อกับถังพักน้ำขนาด 3,743 L (1) ถังพักน้ำขนาด 3,743 L (2) ระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ.....	23
ภาพที่ 3-5 ไคอะแกรมแสดงชุดการทดลองที่ประกอบด้วยบ่อชุดควบคุม และบ่อชุดทดลองที่มีการติดตั้งระบบบำบัดในเตรต.....	28
ภาพที่ 3-6 (ก และ ข) การวางอุปกรณ์ต่างๆ ภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อเป็นที่หลบภัย และเป็นที่ยึดเกาะของกุ้งกุลาดำ และการให้อาหารกุ้งในบ่อ เพื่อความสะดวกในการเก็บเศษอาหารเหลือ.....	29
ภาพที่ 3-7 (ก และ ข) การศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำของบ่อชุดควบคุม และบ่อชุดทดลอง ด้วยการชั่งน้ำหนักกุ้งกุลาดำ และการวัดความยาวของกุ้งกุลาดำ.....	30
ภาพที่ 3-8 ช่วงเวลาของการเติมเมธานอล และหยุดเติมเมธานอล ใน 1 รอบ มีการควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติ เมื่อ ค่า ORP อยู่ระหว่าง -310 และ -320 mV.....	33
ภาพที่ 4-9 ปริมาณไนเตรตก่อนเข้า (nitrate in) และหลังจากออกจากระบบบำบัดในเตรต (nitrate out) ที่มีการเติมเมธานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้าที่ส่วนต้น ของระบบบำบัด จุดที่ลูกศรชี้แสดงการพบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H <sub>2</sub> S) ทำให้ต้องหยุดเติมเมธานอล.....	41

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 4-10	ประสิทธิภาพของการบำบัดไนเตรด ด้วยระบบบำบัดแบบท่อยาว ที่มีการเติมเมทานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้าที่ส่วนต้นของระบบบำบัด จุดที่ลูกศรชี้แสดงการพบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H <sub>2</sub> S) ทำให้ต้องหยุดเติมเมทานอล.....	42
ภาพที่ 4-11	ปริมาณไนไตรต์ก่อนเข้า (nitrite in) และหลังจากออกจากระบบบำบัด ไนเตรด (nitrite out) ที่มีการเติมเมทานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้าที่ส่วนต้น ของระบบบำบัด จุดที่ลูกศรชี้แสดงการพบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H <sub>2</sub> S) ทำให้ต้องหยุดเติมเมทานอล.....	43
ภาพที่ 4-12	ปริมาณแอมโมเนียมก่อนการบำบัดด้วยระบบบำบัดไนเตรด (ammonium in) และปริมาณแอมโมเนียมหลังการบำบัด (ammonium out) โดยมีการเติมเมทานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้าที่ส่วนต้นของระบบบำบัด.....	44
ภาพที่ 4-13	ปริมาณไนเตรดก่อนเข้า (nitrate in) และหลังจากออกจากระบบบำบัด ไนเตรด (nitrate out) ที่มีการเติมเมทานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr.....	45
ภาพที่ 4-14	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรดและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในระหว่างการทดลองระบบบำบัดไนเตรดแบบท่อยาว ที่มีการเติมเมทานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr.....	46
ภาพที่ 4-15	ปริมาณแอมโมเนียมก่อนเข้า (ammonium in) และหลังจากออกจากระบบบำบัดไนเตรด (ammonium out) ที่มีการเติมเมทานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr.....	47
ภาพที่ 4-16	ปริมาณไนไตรต์ก่อนเข้า (nitrite in) และหลังจากออกจากระบบบำบัด ไนเตรด (nitrite out) ที่มีการเติมเมทานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr.....	47

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 4-17	ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน(ORP) ที่บันทึกด้วย Data logger DL 2000 (Wisco, Thailand) ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดในตรตรระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลให้กับระบบด้วยมือ กับระบบอัตโนมัติ.....	49
ภาพที่ 4-18	ประสิทธิภาพการบำบัดในตรตรของระบบบำบัดในตรตรและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลให้กับระบบด้วยมือ (manual control) กับระบบอัตโนมัติ (automatic control).....	49
ภาพที่ 4-19	ปริมาณในตรตรของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ.....	50
ภาพที่ 4-20	ปริมาณไนโตรเจนของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ.....	51
ภาพที่ 4-21	ปริมาณแอมโมเนียมของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ.....	51
ภาพที่ 4-22	ปริมาณฟอสเฟตของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ.....	52
ภาพที่ 4-23	pH และ อัลคาลินิตี ของน้ำในบ่อชุดควบคุม (Control pond) และในบ่อชุดทดลอง (Treatment pond) ที่มีการติดตั้งระบบบำบัดในตรตรตลอดระยะเวลาการทดลองประมาณ 7 เดือน โดยมีการเติม $\text{NaHCO}_3$ ลงในบ่อชุดควบคุมเพื่อเพิ่มอัลคาลินิตี (ในวันที่ 140).....	53
ภาพที่ 4-24	ประสิทธิภาพการบำบัดในตรตรของระบบบำบัดในตรตรตลอดระยะเวลา 7 เดือน...56	
ภาพที่ 4-25	การเปลี่ยนแปลงค่า ORP ที่ตรวจวัดในส่วนท้ายของระบบบำบัดในตรตรแบบท่อยาว ณ เวลาก่อนและหลังจากการล้างทำความสะอาดระบบบำบัด.....	57

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 4-26	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรด กับค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรด ก่อนการล้างทำความสะอาดระบบ โดยมีระยะเวลาพักเก็บน้ำอยู่ระหว่าง 2-4 ชั่วโมง.....	58
ภาพที่ 4-27	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรด กับค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรด หลังจากการล้างทำความสะอาดระบบ โดยมีระยะเวลาพักเก็บน้ำอยู่ระหว่าง 1-3 ชั่วโมง.....	58
ภาพที่ 4-28	การเปลี่ยนแปลงของค่า ORP เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าของ ORP ที่ใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอลจากระหว่าง -200 mV ถึง -400 mV เป็น -300 mV ถึง -330 mV.....	59
ภาพที่ 4-29	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรดของระบบบำบัดไนเตรด และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรด ที่มีการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP อยู่ระหว่าง -300 mV ถึง -330 mV โดยจุดเริ่มต้นในกราฟนับตั้งแต่เริ่มมีการเติมเมธานอล.....	60
ภาพที่ 4-30	การเปลี่ยนแปลงของค่า ORP เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าของ ORP ที่ใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอลจากระหว่าง -300 mV ถึง -330 mV เป็น -310 mV ถึง -320 mV.....	61
ภาพที่ 4-31	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรดของระบบบำบัดไนเตรด และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรด ที่มีการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP อยู่ระหว่าง -310 mV ถึง -320 mV โดยจุดเริ่มต้นในกราฟนับตั้งแต่เริ่มมีการเติมเมธานอล.....	61
ภาพที่ 4-32	ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในส่วนปลายทางน้ำออกจาก ระบบบำบัดไนเตรด เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอล โดยอัตโนมัติ และการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยเครื่องตั้งเวลา.....	62
ภาพที่ 4-33	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรดของระบบบำบัดไนเตรด และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) โดยใช้ เครื่องตั้งเวลา เป็นตัวควบคุมการเติมเมธานอล.....	63

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 4-34	การเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดในไตรท์ที่ควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติ เปรียบเทียบระหว่างการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีความเค็ม 25 PSU และความเค็ม 32 PSU.....	64
ภาพที่ 4-35	น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) ตลอดระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน.....	65



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากอดีตที่ผ่านมา การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลถือเป็นอาชีพที่ทำรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งเป็นอย่างมาก จึงทำให้มีผู้นิยมทำการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลเพิ่มขึ้น โดยทำการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลแบบระบบเปิด (open system) จนเกิดปัญหาต่างๆ ตามมา เช่น ปัญหาโรคกุ้ง และปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเศษอาหารที่เหลือ รวมถึงของเสียที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล เมื่อมีการปล่อยน้ำจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลนี้ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งแตกต่างจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (closed recirculating system) เนื่องจากระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดนี้จะมีระบบกรองชีวภาพ (biological filtration) ซึ่งเป็นระบบบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้ แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และ ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด โดยทั่วไปจะมีระบบบำบัดด้วยการกรองชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งใช้กระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยอาศัยการย่อยสลายของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) ได้แก่ แอมโมเนียมออกซิไดส์ซิงแบคทีเรีย (Ammonium oxidizing bacteria) เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) เป็นไนไตรต์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และไนไตรต์ออกซิไดส์ซิงแบคทีเรีย (Nitrite oxidizing bacteria) เปลี่ยนไนไตรต์ให้เป็นไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) เมื่อมีการเลี้ยงกุ้งทะเล โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งทะเลที่จำเป็นต้องเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการสะสมไนเตรตในระบบ ถึงแม้ว่าไนเตรตจะมีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียมและไนไตรต์ แต่ถ้าในระบบเพาะเลี้ยงเกิดการสะสมไนเตรตมาก จะเกิดผลกระทบต่อพ่อแม่พันธุ์กุ้งทะเลได้ จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อลดปัญหาการสะสมไนเตรต ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาระบบบำบัดไนเตรตโดยการนำหลักการของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) ทำการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นแก๊สไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) มาใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลเลี้ยงด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด เพื่อช่วยลดปัญหาการสะสมไนเตรตและช่วยยืดระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่ระบบบำบัดไนเตรตสำหรับพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในโรงเรือนโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดในรายงานของ Menasveta, *et.al.* (2001) ยังคงมีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้แก๊สไนโตรเจนเพื่อลดออกซิเจนในกระบวนการบำบัด

ในเตรต และปัญหาที่สำคัญอีกประการก็คือการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้เกิดการสะสมไนไตรต์ และเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (บรรจง เทียนสงรัสมิ, 2530) นอกจากนี้ปัญหาความแปรปรวนในการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีการควบคุมประสิทธิภาพของระบบให้คงที่

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาพัฒนาระบบบำบัดไนเตรตต่อจากงานวิจัยของ สุวิมล ตันทสุกิจฉนิช (2545) ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบท่อยาว ภายในท่อบรรจุวัสดุกรองทรงกลม มีชื่อทางการค้าว่า “ซูเปอร์ไบโอบอล” (Super Bioball™) โดยการทำงานของระบบท่อยาวนี้ ได้ใช้แบคทีเรียส่วนต้นของท่อลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยใช้กระบวนการหายใจของแบคทีเรียทำให้ออกซิเจนลดลงจนถึงระดับที่จะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แก๊สไนโตรเจน และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ซึ่งระบบท่อยาวนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตอยู่ในช่วง 84-97% แต่เนื่องจากระบบนี้ยังมีความแปรปรวนในการบำบัดทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่คงที่ เพื่อให้ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวนี้มีเสถียรภาพในการบำบัด จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาาระบบนี้ โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดแบบท่อ รวมถึงการศึกษาค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมระบบบำบัดไนเตรต ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเกิดการสะสมไนไตรต์ในระบบ จากนั้นนำระบบบำบัดนี้ ไปทดสอบประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยงจริง คือติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตนี้กับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ และทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 7 เดือน

## 1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อ สำหรับการลดปริมาณไนเตรตในบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งทะเลในโรงเรือนด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดไนเตรตในระบบท่อยาวโดยใช้น้ำเสียจากการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ



2. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อในการบำบัดในเตรตในบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำโดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างชุดควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ กับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด และชุดทดลองที่มีการติดตั้งระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ กับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตรตของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในเตรต และลดปัญหาการสะสมในเตรต ในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นระยะเวลานาน
2. สามารถเพิ่มระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งทะเลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ลดปริมาณการใช้น้ำ และลดปริมาณการปล่อยน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งทะเลสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
3. สามารถพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดให้ใช้ได้จริงในการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งทะเลในระบบปลอดโรค (Specific Pathogen Free)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัย

#### 2.1 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Closed recirculating systems) สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปัญหาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเนื่องจากการสะสมปริมาณสารอาหารจากเศษอาหารที่เหลือจากการกินและสิ่งที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์น้ำ ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนจุลชีพในน้ำ ซึ่งส่งผลทำให้ระบบเพาะเลี้ยงขาดออกซิเจนเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสะสมแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำอย่างรุนแรง ดังนั้นระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจำเป็นต้องมีระบบบำบัดแอมโมเนียเพื่อลดปัญหา แต่เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลานาน โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ ทำให้เกิดการสะสมไนเตรตขึ้นในระบบ ถึงแม้ว่าไนเตรตจะมีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนีย แต่เมื่อมีการสะสมเวลานานโดยไม่มีการบำบัด ไนเตรตอาจส่งผลต่อสัตว์น้ำที่ทำการเพาะเลี้ยงได้ ดังนั้นระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดไนเตรตควบคู่กับระบบบำบัดแอมโมเนีย เพื่อให้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้เป็นเวลานาน

#### 2.2 คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากปัญหาคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงไม่ดี ย่อม ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ ทำให้เกิดผลเสียตามมา หรืออาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ คุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีดังนี้

##### 2.2.1 แอมโมเนีย

สัตว์น้ำทุกชนิดขับถ่ายของเสียออกมาในรูปแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียบางส่วนสามารถระเหยออกสู่อากาศได้ แต่เนื่องจากแอมโมเนียในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็อาจส่งผลต่อสัตว์น้ำได้ โดยแอมโมเนียที่อยู่ในรูป un-ionized ammonia ( $\text{NH}_3$ ) จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าแอมโมเนียที่อยู่ในรูป ionized ammonia ( $\text{NH}_4^+$ ) ส่วนใหญ่ในน้ำที่มี pH ประมาณ 7 จะมีปริมาณแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ต่ำกว่าในน้ำที่มี pH ประมาณ 9 เนื่องจากแหล่งน้ำเค็ม จะมี pH ในช่วง 7.8 – 8.5 ดังนั้นสัตว์น้ำเค็มจึงมีความเสี่ยงต่อพิษของแอมโมเนีย โดยสัตว์น้ำจะเริ่มเครียดเมื่อน้ำมีปริมาณแอมโมเนียประมาณ 0.1 mg/L เป็นผลทำให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการทางเคมีในร่างกายของสัตว์น้ำ ทำให้มีความต้องการออกซิเจนสูงขึ้น และทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอ ติดโรคร่างง่าย ถึงแม้ว่า  $\text{LC}_{50}$

ของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) มีผลต่อปลาที่ระดับ 0.5 mg/L แต่ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพียง 0.025 mg/L ก็สามารถส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของปลาได้ (มันสิน ตันจุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา, 2536)

โดยทั่วไป ระดับ แอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) ต่ำสุดที่ยอมรับได้ คือ 1.0 mg/L ในช่วง pH และอุณหภูมิที่ไม่ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) มีค่าเกิน 0.02 mg/L (Liao and Mayo, 1972 อ้างโดย ศิริวัฒน์ กุเจริญไพบูลย์, 2544)

### 2.2.2 ไนไตรต์

โดยทั่วไปปริมาณไนไตรต์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีไม่สูงมาก เนื่องจากไนไตรต์ไม่คงตัว จึงมักเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนเตรต แต่ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียสูงมากก็มีโอกาสที่จะเกิดการสะสมของปริมาณไนไตรต์ในบ่อเลี้ยงได้ (ธีรพงษ์ จรรย์ญากรณ์, 2545)

ผลของไนไตรต์ที่มีต่อปลา เกิดจากการที่เฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ซึ่งอยู่ในโมเลกุลฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ในเลือดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ทำให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนเป็นเมทฮีโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งมีความสามารถในการรับออกซิเจนได้ต่ำกว่าปกติ (hypoxia) ความเป็นพิษของไนไตรต์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำ และมีอุณหภูมิสูง ปริมาณไนไตรต์ที่สูงเกินกว่า 1 mg/L จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ (มันสิน ตันจุลเวศน์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2539)

นอกจากนี้ ไนไตรต์ยังเป็นสารพิษที่มีกลไกการเกิดพิษต่อสัตว์น้ำคล้ายกับแอมโมเนีย ระดับความเข้มข้นของไนไตรต์ที่ปลอดภัยต่อกุ้งกุลาดำในระยะ mysis และ post larva คือ ไม่เกิน 0.11 mg/L (Chen and Chin, 1988)

### 2.2.3 ไนเตรต

ไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและไนไตรต์ แต่เมื่อมีการสะสมไนเตรตในปริมาณมากขึ้นพบว่าจะมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้เช่นกัน โดย Epifano and Sma (1975) อ้างโดย Spotte (1979) พบว่า ไนเตรตมีความเป็นพิษต่อหอยสองฝาที่ความเค็ม 27 ppt โดยค่า  $\text{LC}_{50}$  ของหอย *Crassostrea virginica* ที่ 96 ชั่วโมงเป็น 2,604  $\text{mgNO}_3\text{-N/L}$  ในตัวเต็มวัย

Zweig และคณะ (1999) รายงานว่าเมื่อไนเตรตเกิดการสะสมถึงระดับหนึ่งจะมีผลต่อ osmoregulation การขนส่งออกซิเจน และยังเป็นพิษต่อดับปลา ระดับไนเตรตที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ต้องมีค่าต่ำกว่า 23 mg/L แต่ความเข้มข้นของไนเตรตที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ต้องมีไนเตรตต่ำกว่า 11 mg/L นอกจากนี้ ศิริวัฒน์ กุเจริญไพบูลย์ (2544) ได้รายงานว่ ปริมาณไนเตรต 181 mg/L ขึ้นไปจะเป็นพิษต่อดับปลา

#### 2.2.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สำหรับกุ้งกุลาดำจะใช้ ออกซิเจนเพื่อการหายใจ และออกซิเจนยังช่วยสลายเศษอาหาร และสิ่งขับถ่ายต่างๆ ของกุ้งด้วยการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในน้ำมีผลต่อการกินอาหารและการหายใจ หรือการทำงานในระบบต่างๆ ในร่างกายกุ้ง ออกซิเจนที่ละลายในปริมาณต่ำกว่า 4 mg/L อาจไม่ทำอันตรายต่อกุ้งในภาวะปกติ แต่อาจเป็นอันตรายต่อกุ้งที่ลอกคราบได้ เพราะช่วงนี้กุ้งจะต้องการออกซิเจนมากกว่าปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้อยู่ในระดับที่สูงกว่า 4 mg/L โดยเฉพาะกุ้งขนาดใหญ่ซึ่งจะมีความต้องการออกซิเจนมากกว่าเพราะมีน้ำหนักมาก ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 3 mg/L จะทำให้กุ้งไม่กินอาหารลดการเคลื่อนไหว และอาจอ่อนแอจนตายได้ (ธัญญา พันธุ์ฤทธิ์ดำ, 2541) นอกจากนี้ คณิต ไชยคำ และยงยุทธ ปริดาลัมพะบุตร (2537) ยังได้แนะนำว่า ระดับออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไม่ควรต่ำกว่า 3 mg/L

#### 2.2.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

pH ที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้สัตว์น้ำเกิดอาการเครียดและมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของปลา (มันสิน ตันฑุลเวสน์ และไพพรรณ พรประภา, 2536) โดยทั่วไป pH ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ระหว่าง 6-9 โดย pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำเติบโตช้า (คณิต ไชยคำ และยงยุทธ ปริดาลัมพะบุตร, 2537)

สำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น pH ที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งควรมีค่าอยู่ในระดับ 7.5-8.5 โดยปกติ pH จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดการสะสมหรือเน่าเสียของอาหารที่ตกค้างจากสิ่งขับถ่ายของกุ้ง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง pH จะส่งผลกระทบต่อ การเติบโตและการลอกคราบของกุ้ง วิชัย ลากจตุพร และ ורתัย เตี่ยววาณิชย์ (2535) ได้สรุปผลความเป็นกรด-ด่างต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำไว้ดัง ตารางที่ 2-1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-1 ระดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีผลต่อกุ้งกุลาดำ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ผลต่อกุ้งกุลาดำ
น้อยกว่า 5	เป็นอันตรายและอาจทำให้กุ้งตายได้อย่างรวดเร็ว
ระหว่าง 5-7	การเจริญเติบโตลดลง การลอกคราบผิดปกติ กินอาหารลดลง หรืออาจตายได้ถ้าอยู่ในสภานี้มานานๆ
ระหว่าง 7.5-8.5	เหมาะสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
ระหว่าง 8.5-10.5	การเจริญเติบโตลดลง การลอกคราบผิดปกติ กินอาหารลดลง หรืออาจตายได้ถ้าอยู่ในสภานี้มานาน ๆ
มากกว่า 10.5	เป็นอันตรายและอาจทำให้กุ้งตายได้อย่างรวดเร็ว

### 2.2.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำคือ 25-30 °C เนื่องจากกุ้งกุลาดำเป็นสัตว์เลือดเย็นอุณหภูมิของร่างกายจึงเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกุ้งกุลาดำด้วยเช่นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10°C กระบวนการทางสรีรวิทยาจะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า ทำให้การเจริญเติบโต หรือน้ำหนักตัวของกุ้งลดลงได้ในทำนองเดียวกันถ้าอุณหภูมิลดลง จะทำให้กุ้งกินอาหารได้น้อยและมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงได้เช่นเดียวกัน

### 2.2.7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S)

เนื่องจากในสถานะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียสามารถใช้ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟต และสารประกอบซัลเฟตตัวอื่นๆ ที่อยู่ในรูปออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงสารประกอบเหล่านี้ให้อยู่ในรูปซัลไฟด์ซึ่งก็คือแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจะขึ้นกับ pH ของน้ำ ถ้าน้ำมี pH ต่ำ อาจทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าน้ำที่มี pH สูง

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง (2536) ได้รายงานไว้ว่า ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นแก๊สพิษที่มีผลต่อสัตว์น้ำ โดยจะไปสกัดกั้นการแพร่ของออกซิเจนในเซลล์ ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทำให้สัตว์ตายจะอยู่ในช่วง 0.01-0.05 ppm ความเป็นพิษจากไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรุนแรงกว่าการขาดออกซิเจน (ชโล ลิมสุวรรณ, 2535) ดังนั้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจึงไม่ควรให้มีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากการศึกษาของ คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปริดาลัมพะบุตร (2537) ได้แนะนำว่าในบ่อเพาะเลี้ยงปลาควรมีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ไม่เกิน 0.002 mg/L

### 2.2.8 ความเค็ม

เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยาของกุ้ง โดยทำให้กุ้งเปลี่ยนแปลงพลังงานในการหายใจและขับถ่าย ซึ่งมีผลต่อเนื่องถึงอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง กุ้งกุลาดำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดีในช่วงความเค็ม 15-30 PSU แต่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ความเค็ม 27-28 PSU การใช้พลังงานในการควบคุมเกลือแร่และขับถ่ายจะน้อยที่สุด และพบว่ากุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตดี (ธัญญา พันธุ์ฤทธิ์คำ, 2541)

## 2.3 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยทั่วไป มี 4 รูปแบบ ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางชีวภาพ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางกายภาพเคมี ซึ่งสามารถเลือกใช้วิธีต่างๆ ได้ตามความเหมาะสมกับแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ระบบ หรืออาจใช้การผสมผสานกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดียิ่งขึ้น สามารถจำแนกเป็นกระบวนการใหญ่ ๆ ได้ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

### 2.3.1 กระบวนการทางกายภาพ

เป็นการกำจัดหรือการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำที่จมตัวหรือแขวนลอยอยู่ออกไป ขั้นตอนนี้มักเป็นขั้นตอนแรกของการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยอาศัยหลักการด้วยตะแกรง (screening) การตกตะกอน (sedimentation) การกวน (mixing) การทำให้ลอย (floatation) การกวาด (skimming) การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugation) หรือโดยการอัดอากาศเข้าไป เพื่อให้เป็นฟองอากาศยึดเกาะกับอนุภาคของสารเป็นต้น กระบวนการทางกายภาพนี้จะช่วยลดค่า BOD ของน้ำได้ แต่จะมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำด้วย

### 2.3.2 กระบวนการทางเคมี

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การทำให้เป็นกลาง (neutralization) การทำให้เกิดการตกตะกอน (precipitation) การกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรค (disinfection) การปรับค่ากรด-เบส (pH adjustment) เป็นต้น ข้อเสียของการเลือกใช้กระบวนการทางเคมีคือเมื่อเติมสารเคมีลงไปในน้ำแล้วอาจก่อให้เกิดผลกระทบอื่นๆ ได้ อีกทั้งยังยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง

### 2.3.3 กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพราะเป็นวิธีการที่ประหยัดและไม่ยุ่งยากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น จุดประสงค์หลักของกระบวนการทางชีวภาพ ก็คือการกำจัดหรือแปรเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ใช้ ออกซิเจน (aerobic) และสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic) เช่น ระบบกรองชีวภาพสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ กระบวนการทางชีวภาพได้แก่ ระบบกรองไหลผ่าน (trickling filter) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (rotating biological contractor, RBC) ระบบแอส (activated sludge) ระบบบ่อธรรมชาติ (natural pond) เป็นต้น

### 2.3.4 กระบวนการทางกายภาพเคมี

เป็นวิธีที่อาศัยกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ โดยวิธีนี้ต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง ได้แก่ การใช้สารดูดซับ (carbon adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การกรองแบบ ultrafiltration ออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (electrodialysis) เป็นต้น

## 2.4 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ

### 2.4.1 สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (organic-nitrogen compounds)

เป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ในโครงสร้างของพืช และสัตว์ สิ่งขับถ่ายจากสัตว์ และสารจากการย่อยสลายสิ่งมีชีวิต ได้แก่ โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโน กรดยูริก และยูเรีย เป็นต้น

### 2.4.2 สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia-nitrogen compounds)

เป็นสารไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนีย หรือสารประกอบแอมโมเนีย ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในรูปของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) เกิดจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนจากอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สาร

### 2.4.3 สารประกอบไนไตรต์ (nitrite-nitrogen compounds)

เป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) โดยแบคทีเรีย ที่อาศัยอยู่ในดินและน้ำ

#### 2.4.4 สารประกอบไนเตรต (nitrate-nitrogen compounds)

เป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น และหากมีออกซิเจนในปริมาณมากพอแล้ว สารประกอบไนเตรตจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรที่สุด ยังเป็นสารอาหารที่สำคัญของพืชน้ำและสาหร่าย

### 2.5 ผลกระทบของไนเตรตต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

#### 2.5.1 โรคเมทฮีโมโกลบินีเมีย (Methaemoglobinaemia)

ไนเตรตเป็นสาเหตุของโรคเมทฮีโมโกลบินีเมีย หรือ Blue babies ในเด็กทารก เด็กทารกจะมีโอกาสเป็นโรคนี้อย่างสูงเนื่องจากมีค่า pH ในกระเพาะอาหารสูงกว่าทำให้เกิดการรีดักชันของไนเตรตไปเป็นไนไตรต์โดย nitrate-reducing bacteria ได้มากกว่า (Bitton, 1994) และอาจเสียชีวิตได้หากร้อยละ 45-65 ของฮีโมโกลบินถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นเมทฮีโมโกลบิน (Burt, Heathwaite and Trudgill 1993) ด้วยเหตุนี้องค์การอนามัยโลก (WHO) จึงกำหนดค่ามาตรฐานของไนเตรตในน้ำไว้ไม่เกิน  $10 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  (ธีระ เกรอต, 2539)

#### 2.5.2 ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

ในแหล่งน้ำที่มีปริมาณไนเตรตมากจะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำ ทำให้มีความต้องการออกซิเจนมากขึ้น โดยเฉพาะในเวลากลางคืน ซึ่งจะมีผลต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำชนิดอื่น ๆ รวมถึงส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำสำหรับบริโภคหรือการพักผ่อน เนื่องจากแบคทีเรียจำพวก ไนตริไฟเออร์ ต้องการออกซิเจนถึง  $4.6 \text{ mg}$  ในการออกซิไดซ์แอมโมเนีย  $1 \text{ mg}$  เรียกว่า nitrogenous oxygen demand (NOD) ของแหล่งน้ำ (Bitton, 1994)

### 2.6 ผลกระทบไนเตรตที่มีต่อสัตว์น้ำ

ไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจน ที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่าแอมโมเนียและไนไตรต์ แต่ถ้าปริมาณไนเตรตมีความเข้มข้นสูง ในสถานะที่มี pH ต่ำและอัลคาไลน์ตี (Alkalinity) ต่ำ จะมีผลต่อสัตว์น้ำได้เช่นกัน เช่นมีผลต่อการหายใจของปลาหมึก (Hirayama, 1966 อ้างโดย Van Rijn, 1996) และยับยั้งการวางไข่ในปลาสวยงามน้ำจืดบางชนิด (Van Rijn, 1996) ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นระยะเวลานาน จึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดไนเตรต



Hart and O'Sullivan (1993) ได้แนะนำว่า ปริมาณไนเตรตสำหรับการเลี้ยงปลาไม่ควรเกิน 25 mgNO<sub>3</sub>-N/L ส่วน Balderson (1974 อ้างโดย ศิริวัฒน์ คุชรวิญญูไพบูลย์, 2544) พบว่าไนเตรตที่มีระดับความเข้มข้น 181 mgNO<sub>3</sub>-N/L จะเป็นพิษต่อดับปลา

## 2.7 กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ

มีกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการ ดังนี้

### 2.7.1 กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเศษอาหารที่เหลือ และเซลล์สัตว์ที่ตายแล้ว ซึ่งอยู่ในรูปของโปรตีน กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ไปอยู่ในรูปแอมโมเนีย

### 2.7.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแอมโมเนียที่เกิดจากการผ่านกระบวนการ Ammonification และการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายของสัตว์น้ำไปเป็นไนไตรต์ซึ่งเกิดโดยแบคทีเรียกลุ่ม แอมโมเนียมออกซิไดส์ซิงแบคทีเรีย เช่น *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosomonas oligocarbogenes*, *Nitrosovibrio tenuis*, *Nitrosococcus nitrosus*, *Nitrosococcus oceanus*, *Nitrospira briensis*, *Nitrosolobus multiformis* ดังสมการ



จากนั้นแบคทีเรียในกลุ่ม ไนไตรต์ออกซิไดส์ซิงแบคทีเรีย เช่น *Nitrobacter winogradski*, *Nitrobacter agillis*, *Nitrospira gracillis*, *Nitrococcus mobiles* จะเปลี่ยนไนไตรต์ไปอยู่ในรูปไนเตรต ดังสมการ

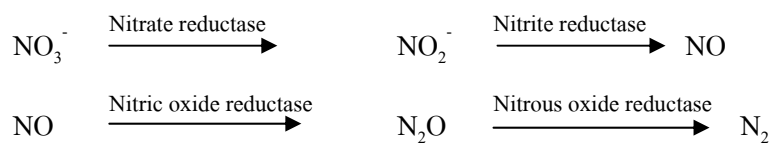


(Bitton, 1994)

### 2.7.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตและไนไตรต์ ให้เป็นแก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) หรือไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ออกสู่บรรยากาศโดยอาศัยดีไนตริไฟอิงแบคทีเรียซึ่งสามารถใช้ไนเตรต

ไนไตรต์ ไนตริกออกไซด์ (NO) และ ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในสภาวะไร้ออกซิเจนในสภาวะไร้ออกซิเจน ดังสมการ



(Bitton, 1994)

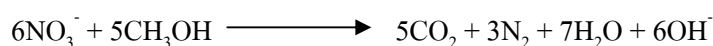
กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่ลดสารประกอบไนเตรตในน้ำ โดยไนเตรตจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจน แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน อาจจะเป็นประเภทที่ใช้ออกซิเจน หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ อาทิ *Acinotobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Flavobacterium*, (US.EPA., 1975; Knowler, 1982), *Dinitrobacillus*, *Spirillum* (Anderson และ Ibahim, 1978) และ *Thiobacillus* ซึ่งสามารถจัดกลุ่มของดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียดังกล่าวได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

### 2.7.3.1 Autotrophic Denitrifying Bacteria

เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างอาหารเองได้โดยใช้สารอนินทรีย์เป็นวัตถุดิบ ซึ่งถือว่าการสร้างอาหารเองโดยไม่ต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่น โดยอาศัยคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) หรือ แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เป็นแหล่งคาร์บอน จัดว่าเป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถสูงในการสังเคราะห์อาหารโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หรือจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอนินทรีย์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ก็สามารถดำรงชีพและสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ได้

### 2.7.3.2 Heterotrophic Denitrifying Bacteria

เป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ต้องใช้สารอินทรีย์หรือซากของสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นวัตถุดิบ ดังนั้นในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของแบคทีเรียประเภทนี้จึงจำเป็นต้องเติมสารอินทรีย์คาร์บอนให้แก่ระบบ ซึ่งสารอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาล เมธานอล เอทานอล ฯลฯ แบคทีเรียประเภทนี้ ได้แก่ *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter* และ *Bacillus* ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังนี้



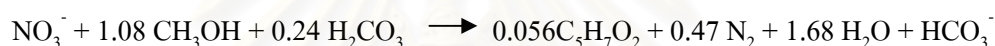
ในทางทฤษฎีแล้ว  $1 \text{ mgNO}_3\text{-N}$  ที่ถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนจะทำให้แอลคาลินิตีเท่ากับ  $3.57 \text{ mgCaCO}_3\text{/L}$  ซึ่งจะตรงข้ามกับการเกิดดีไนตริฟิเคชันที่จะไปลดสภาพต่าง แต่การเกิดดีไนตริฟิเคชันจะไปทำการเพิ่มสภาพต่าง

กลไกทางชีวภาพของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอน แสดงดังสมการต่อไปนี้

สมการแสดงการลด



ถ้านำการสังเคราะห์เซลล์มาพิจารณาด้วย โดยมีเมทานอล คาร์บอน และไนเตรต จะได้สมการดังนี้



สมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยมีแหล่งคาร์บอน เช่น เมทานอล จะช่วยเพิ่มแอลคาลินิตี (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2543)

### 2.7.3.3 การเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ (incomplete denitrification)

ในสภาพที่ไร้ออกซิเจนและมีความเข้มข้นของไนเตรตสูง จะทำให้เกิดการเติบโตของดีไนตริฟายอิงแบคทีเรีย ประเภทเฮเทโรโทรฟิกแบคทีเรีย (heterotrophic bacteria) (Hopkins *et.al.*, 1994) ซึ่งจะใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน และใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายโดยจะเปลี่ยนไนเตรต  $\longrightarrow$  ไนไตรต์  $\longrightarrow$  ไนตริกออกไซด์  $\longrightarrow$  ไนตรัสออกไซด์  $\longrightarrow$  แก๊สไนโตรเจน ออกสู่บรรยากาศ

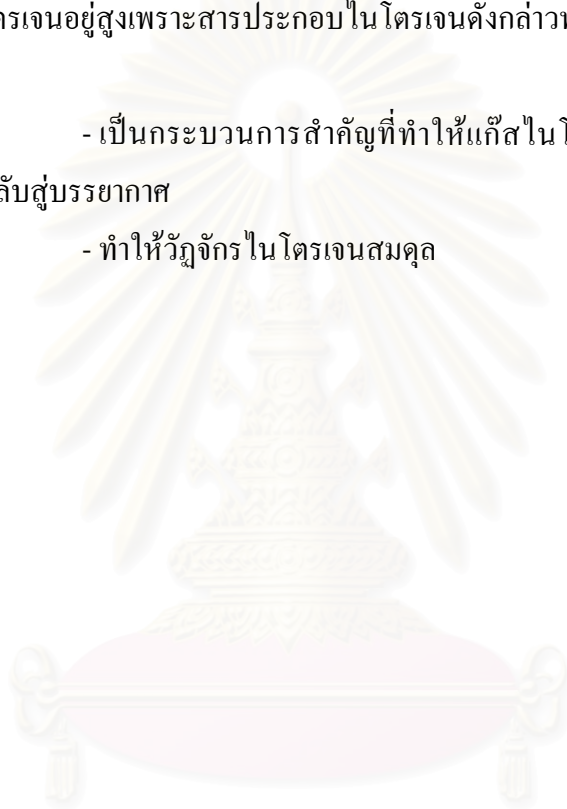
แต่ในกรณีที่สภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการรีดิวซ์ไนเตรตไปเป็นไนไตรต์แต่จะไม่เกิดการรีดิวซ์ไนไตรต์ให้เป็นแก๊สไนโตรเจนในขั้นตอนต่อไป ซึ่งเรียกว่า การเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ โดยสภาวะที่ทำให้เกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์มีดังนี้

- ขาดแหล่งคาร์บอนหรือแหล่งคาร์บอนไม่เพียงพอ
- เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยเกินไป
- ปริมาณแบคทีเรีน้อย

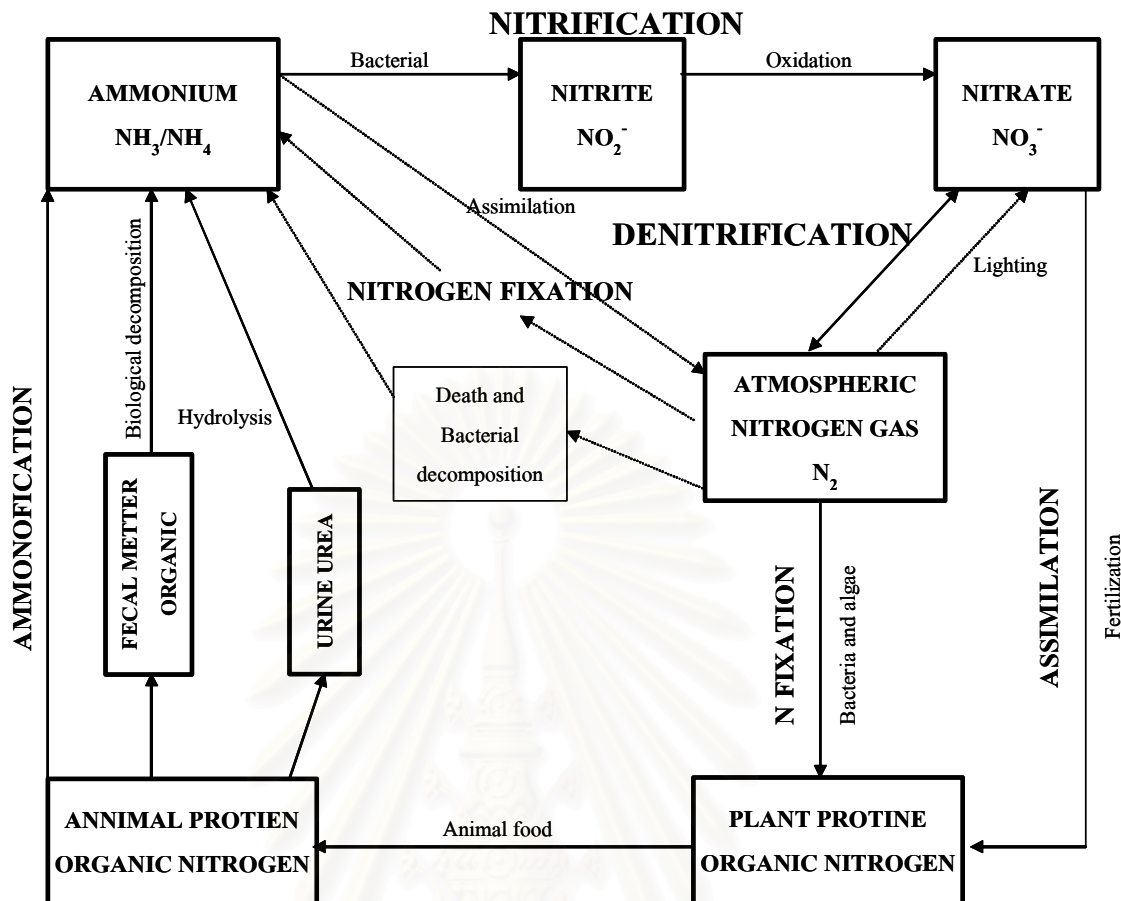
- มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำสูง  
(อำเภอเทพิน สิงหาคม 2543)

#### 2.7.3.4 ความสำคัญของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (สัญญา พันธุ์ฤทธิ์ดำ, 2541)

- เป็นกลไกหลักในการลดสารประกอบในการลดสารประกอบ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในธรรมชาติ
- นำไปประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณไนโตรเจนของน้ำเสีย ที่มีสารประกอบไนโตรเจนอยู่สูงเพราะสารประกอบไนโตรเจนดังกล่าวทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้
- เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้แก๊สไนโตรเจน ( $N_2$ ) และไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) กลับสู่บรรยากาศ
- ทำให้วัฏจักรไนโตรเจนสมดุล



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-1 การหมุนเวียนสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ คัดแปลงจาก (วิรัช จิวแหยม, 2544)

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

### 2.8.1 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เนื่องจากในสภาพที่มีออกซิเจนดีไนตริฟิอิงแบคทีเรียจะเลือกใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนไนเตรต เพราะพลังงานที่ได้จากการออกซิไดซ์แหล่งคาร์บอน (กลูโคส) โดยไนเตรต จะมีค่าเท่ากับ 679 kcal/mole ซึ่งน้อยกว่าการออกซิไดซ์แหล่งคาร์บอน (กลูโคส) โดยออกซิเจนเล็กน้อย (686 kcal/mole) (U.S.EPA, 1975) ดังนั้นในสภาพที่มีออกซิเจนประมาณ 0.1-0.2 mg/L Heterotrophic bacteria จึงจะเลือกใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายสุดท้ายในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแทนออกซิเจน

นอกจากนี้เมื่อมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้เอนไซม์ ไนโตรเจนออกไซด์รีดักเตส (Nitrogen Oxide Reductase) ทำงานได้น้อยลง (Knowler, 1982) ซึ่งจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันชะงัก หรือเกิดในอัตราที่ช้า

### 2.8.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการเกิดดิไนตริฟิเคชัน ช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 30-50 °C โดยจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่ 30 °C และ ดิไนตริฟิเคชันยังสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ (5-10°C) แต่การเกิดปฏิกิริยาจะช้าลง (Bitton, 1994) และไม่พบการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ 0 °C (McCarty *et al.*, 1996)

### 2.8.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ในกรณีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในระดับสูงกว่า 8.0 และต่ำกว่า 6.0 อัตราเร็วของปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ช้า ช่วงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมคือ 7.0-7.5 (U.S.EPA, 1975)

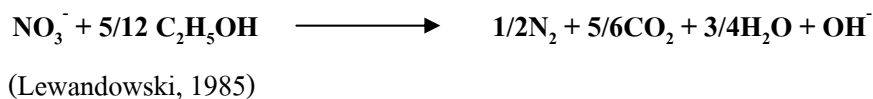
### 2.8.4 สารประกอบอินทรีย์ (Organic matter)

กระบวนการดิไนตริฟิเคชันที่เกิดจากแบคทีเรียพวกเฮเทอโรโทรฟิกนั้น จำเป็นต้องมีการเติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอน เพื่อใช้ในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์และเป็นแหล่งพลังงานให้กับดิไนตริฟายอิงแบคทีเรีย สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนจะเป็นตัวให้อิเลคตรอนในการหายใจแก่แบคทีเรีย 3 แหล่ง คือ สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียต่างๆ การให้ตะกอนจุลินทรีย์จากภายนอก และสารอินทรีย์จากแหล่งภายนอก เช่น กรดอะซิติก (acetic acid), กรดซิตริก (citric acid), เมทานอล (methanol), เอทานอล (ethanol), น้ำตาล (glucose) (อำไพเทพิน สิงหะพันธุ์, 2543) โดยเฉพาะ เมทานอล เอทานอล และพวก alcoholic wastewater พบว่า ถ้ามีปริมาณที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน เพิ่มขึ้น 5-10 เท่า ได้โดยไม่มีผลกระทบสารอื่น จึงทำให้การใช้เมทานอลและเอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนจากภายนอกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

#### เมทานอล



### เอธานอล



จากการศึกษาของ Gomez และคณะในปี 2000 ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกัน 3 ชนิดดังนี้ คือ เมธานอล เอธานอล และ ซูโคลอส พบว่า ซูโคลอสนั้นทำให้ระบบเกิดการสะสมไนโตรเจนเกิดขึ้น ส่วนเมธานอลและเอธานอลนั้นทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ การศึกษาของ Her และ Huang ในปี 1995 พบว่ากลูโคสนั้นทำให้เกิดการสะสมไนโตรเจนได้เช่นเดียวกับซูโคลอส

#### 2.8.5 ความเข้มข้นของไนเตรต

ไนเตรตถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้นไนเตรตจึงมีผลกระทบต่ออัตราเกิดและอัตราเร็วของปฏิกิริยา โดยจะเกิดขึ้นในอัตราเร็วสูงสุดเมื่อมีความเข้มข้นของไนเตรตอยู่ในระดับสูงอย่างเกินพอ (มันสิน ตันฑุลเวศน์, 2538)

### 2.9 ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) กับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เป็นปริมาณความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนในน้ำ โดยจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำ (มันสิน ตันฑุลเวศน์, 2542) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรือไอออนสูญเสียอิเล็กตรอน ส่วนปฏิกิริยารีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรือไอออนได้รับอิเล็กตรอน

ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ที่วัดได้อาจเป็นบวกหรือลบ โดยทั่วไปจะวัดค่า ORP ได้ค่าบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือมีไนเตรต และวัดค่า ORP ได้ค่าลบในน้ำเสียที่ปราศจากออกซิเจน เช่น ถ้าวัดค่า ORP เป็นบวกมากๆ เช่น +300 mV แสดงว่าสารละลายนี้มีสารรับอิเล็กตรอนได้เป็นอย่างดี เช่น มีออกซิเจนละลายในน้ำ เป็นต้น แต่ถ้าวัดค่า ORP ได้ค่าติดลบ เช่น -300 mV แสดงว่าสารละลายมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้ดี เป็นต้น หน่วยของค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) คือ โวลต์ (V) หรือ มิลลิโวลต์ (mV) โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง -1,400 ถึง +1,400 mV เครื่องวัด pH ชั้นดีทั่วไปสามารถวัดค่า ORP ได้ แต่จะต้องเปลี่ยนอิเล็กโทรดให้ถูกต้อง โดยอิเล็กโทรดสำหรับวัดค่า ORP คือ อิเล็กโทรดแบบทองคำขาว (platinum electrode) ในขณะที่ใช้ glass electrode สำหรับวัด pH (มันสิน ตันฑุลเวศน์, 2538)

เนื่องจากปฏิกิริยาในสารเคมีเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ปฏิกิริยาแต่ละประเภทจึงแสดงค่าประจำตัวออกมาต่างกัน เช่น ไนตริไฟเคชันมีค่า ORP เป็น +100 mV ดีไนตริไฟเคชันมีค่า ORP เป็นศูนย์ ส่วนการย่อยสลายออกซิเจนจะมีค่า ORP อยู่ในช่วง -300 ถึง -500 mV (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) จากข้อมูลของ Sillen (1965) ค่า ORP ที่ -200 mV นั้น สามารถทำให้ไนเตรดเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์ และค่า ORP เป็น -325 mV ไนไตรต์จะเปลี่ยนเป็นเป็นแก๊สไนโตรเจน และเมื่อค่า ORP อยู่ในช่วง -375 ถึง -400 mV ระบบสามารถบำบัดไนเตรดได้ถึง 50% ดังนั้น ค่า ORP ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดไนเตรดจึงอยู่ในช่วง -325 ถึง -400 mV

ในการศึกษาของ Lee *et al.* (2000) ได้รายงานไว้ว่า ช่วง ORP ที่มากกว่า -200 mV จะพบปฏิกิริยาดีไนตริไฟเคชันแบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Breck. (1974) อ้างโดย Lee *et al.* (2000) ที่พบว่าปฏิกิริยาดีไนตริไฟเคชันเกิดในช่วง ORP -200 ถึง -325 mV

## 2.10 ระบบบำบัดไนเตรตเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ระบบบำบัดไนเตรตมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลานาน เนื่องจากการสะสมไนเตรตในปริมาณที่มากขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่ทำการเพาะเลี้ยงได้

จากรายงานของ Van Rijn และ Rivera (1990) ได้ทดลองระบบบำบัดที่ประกอบด้วยส่วนที่มีออกซิเจน (Aerobic) และส่วนที่ไร้ออกซิเจน (Anearobic) เพื่อกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกจากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่น โดยในส่วนที่มีออกซิเจนใช้ Trickle filter ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต และส่วนบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเป็น Fluidized bed reactor ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนไนเตรตให้เป็นแก๊สไนโตรเจนโดยปฏิกิริยาดีไนตริไฟเคชัน แต่ระบบดังกล่าวยังมีประสิทธิภาพไม่ด้นักโดยพบว่าปฏิกิริยาดีไนตริไฟเคชันใน Fluidized bed reactor มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสะสมไนเตรตใน Fluidized bed reactor ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่มีแหล่งคาร์บอนไม่เพียงพอทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ

Abouthboul, Ariv and Van Rijn (1995) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาในระบบที่มีการกรองชีวภาพ พบว่าสามารถควบคุมค่าไนเตรตให้มีปริมาณน้อยกว่า 20 mgNO<sub>3</sub>-N/L ได้ แต่ระบบที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ จะพบมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนเตรตจาก 20 mgNO<sub>3</sub>-N/L เป็น 60 mgNO<sub>3</sub>-N/L ภายใน 15 วัน รวมทั้งทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์อยู่ในระดับอันตราย

Gordan และ Christopher (1998) ได้ทำการศึกษาวิจัยที่ The Living Sea Aquarium ซึ่งมีปัญหาของการสะสมไนไตรต์อย่างต่อเนื่องถึงระดับ 60.14 mgNO<sub>3</sub>-N/L หลังจากเปิดดำเนินการ มา 5 ปี จึงได้พัฒนาระบบบำบัดโดยอาศัยกระบวนการดีไนตริไฟเคชัน แยกออกจากบ่อเลี้ยงของตู้แสดง



พันธุ์สัตว์น้ำ หลังจากเดินระบบได้ 350 วัน พบว่าความเข้มข้นของไนเตรตลดลงเหลือ 19.84 mgNO<sub>3</sub>-N/L

สำหรับการศึกษาการบำบัดไนเตรตในบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในโรงเรือน โดยสัญญา พันธุธิดำ (2541) โดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดประกอบด้วยบ่อเลี้ยง บ่อกรองชีวภาพ สภาวะใช้ออกซิเจน และมีระบบตัวกรองชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าสามารถควบคุมปริมาณ แอมโมเนียม และไนไตรต์ ได้ในระดับ 0.5 mgN/L และ 0.2 mgN/L ตามลำดับ แต่ไม่สามารถบำบัด ไนเตรตได้ ต่อมา Menasveta *et al.* (2001) ได้พัฒนาระบบจาก สัญญา พันธุธิดำ (2541) พบว่า ระบบสามารถบำบัดไนเตรตจาก 165 mgN/L เหลือ 25 mgN/L ในระยะเวลา 9 สัปดาห์ แต่ยังคงมี ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากใช้แก๊สไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดไนเตรต ดังนั้นอำเภอเทพิน สิงหะพันธุ์ (2543) จึงได้พัฒนาระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อที่ใช้กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดย แบคทีเรียส่วนต้นของท่อทำหน้าที่ลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และแบคทีเรียในส่วนท้าย ของท่อทำหน้าที่ลดปริมาณไนเตรต โดยใช้ท่อความยาว 50 เมตร ภายในบรรจุวัสดุกรองทรงกลม (bioball) จำนวน 2,870 ลูก พบว่าเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้เกิดการ สะสมไนไตรต์ ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) นอกจากนี้ปัญหาอีกประการหนึ่ง ของการควบคุมระบบบำบัดไนเตรตในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันนั้น ก็คือจะต้องมีการป้องกัน ไม่ให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Lee *et al.*, 2000)

สุวิมล ตันตสุกิจวิช (2545) ได้ศึกษาพัฒนาระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อต่อจากอำเภอ เทพิน สิงหะพันธุ์ (2543) และศึกษาความสัมพันธ์ของการบำบัดไนเตรตในระบบท่อยาวกับค่าศักย์ ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เพื่อใช้ในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบ โดย กำหนดช่วงค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) อยู่ในช่วง -50 mV ถึง -200 mV ซึ่งระบบสามารถ บำบัดไนเตรตจากความเข้มข้น 50 mgNO<sub>3</sub>-N/L เหลือ 2 mgNO<sub>3</sub>-N/L และพบว่าท่อยาวมี ประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรต ระหว่างร้อยละ 84 ถึง 97 โดยไม่มีการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์

## 2.11 ชีววิทยาของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ หรือ กุ้งทะเล หรือกุ้งม้าลาย เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังจัดอยู่ในชั้นครัสเตเชีย (Class Crustacea) เป็นกุ้งทะเลที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์ Penaeidea มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Penaeus monodon* Fabricius และมีชื่อทางภาษาอังกฤษ คือ Giant black tiger prawn หรือ Jumbo tiger prawn.

### 2.11.1 ลักษณะภายนอก

ลำตัวเป็นสีม่วงแดง มีแถบสีน้ำตาลหรือดำพาดขวางลำตัวเป็นปล้อง ๆ โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีเหลืองหัวเกลี้ยงไม่มีขน หนวดมีสีดำไม่มีลาย ฟันกรีด้านบนมี 7-8 ซี่ ด้านล่างมี 3 ซี่ เป็นข้างกรีดทั้งสองด้านมีลักษณะแคบ และยาวไม่ถึงฟันกรีดอันสุดท้าย ที่ขาเดินคู่ที่ 5 ไม่มีระยางค์อันนอก (บรรจง เทียนส่งรัมย์, 2530)

### 2.11.2 วงจรชีวิต

กิ้งกูดาคามีอายุขัยประมาณ 18-24 เดือนโดยจะวางไข่ที่ระดับน้ำลึกประมาณ 30-40 เมตร ใกล้กับพื้นท้องทะเล ไข่จะเกิดการปฏิสนธิในน้ำโดยการพัดโบกไปมาของขาว่ายน้ำ ไข่ที่ผสมแล้วจะฟักออกเป็นลูกกึ่งวัยอ่อน และเคลื่อนเข้าสู่บริเวณชายฝั่งพร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยวิธีลอกคราบเป็นลูกกึ่งวัยอ่อนระยะต่างๆ ได้แก่ ลูกกึ่งวัยอ่อนระยะแรกจะฟักออกจากไข่ภายในเวลา 14-15 ชั่วโมง เรียกว่า นอเพลียส (Nauplius) มี 6 ระยะ ผ่านการลอกคราบ 5 ครั้ง เป็นเวลา 48-56 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงรูปร่างเข้าสู่ลูกกึ่งวัยอ่อนระยะที่ 2 เรียกว่าระยะ โซเอีย (Zoea) มีการลอกคราบ 3 ครั้งภายในเวลา 4-5 วัน จึงเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นลูกกึ่งวัยอ่อนระยะสุดท้าย เรียกว่าระยะ โพลลาวา (Postlarvae) หรือระยะกึ่งความีลักษณะเหมือนกึ่งตัวเต็มวัย นับตั้งแต่เป็นลูกกึ่งวัยอ่อน ระยะ โพลลาวาวันแรกใช้เวลาประมาณ 3-4 เดือนจึงเติบโตเป็นกึ่งตัวเต็มวัย (Juvenile) และมีการพัฒนาเฉพาะเรื่องขนาดเท่านั้น ส่วนรูปร่างๆ เหมือนเดิม เมื่อพัฒนาเป็นกึ่งตัวเต็มวัย (adult) จึงเดินทางสู่ทะเลลึกเพื่อผสมพันธุ์ต่อไป

### 2.11.3 ลักษณะนิสัย

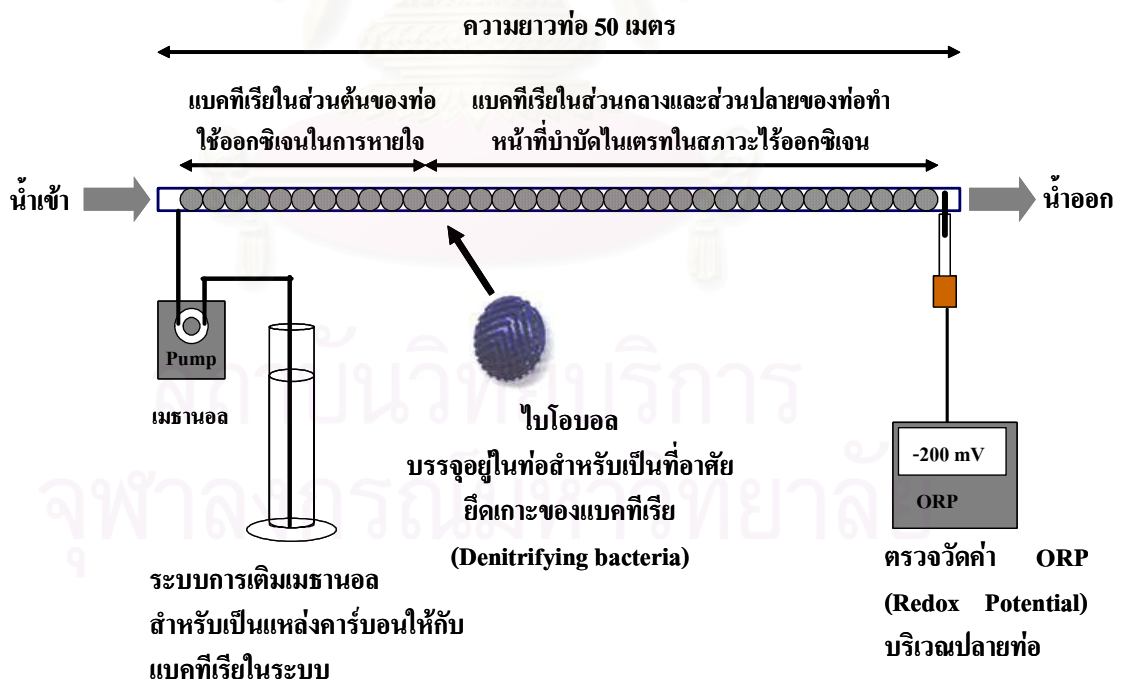
กิ้งกูดาค่าเป็นกึ่งที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ในธรรมชาติชอบอาศัยอยู่ในบริเวณน้ำลึกเขตร้อน ที่มีท้องทะเลเป็นโคลนปนทราย สามารถทนอยู่ได้ในน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูงและความเค็มต่ำ เช่นบริเวณป่าชายเลน ชอบหมกตัวและอยู่ตามหน้าพื้นทะเล หากินตามพื้นทะเล กินอาหารจำพวกพืชและสัตว์ทั้งที่ตายแล้วและมีชีวิตอยู่ กินอาหารได้ทุกเวลา กิ้งกูดาค่าสามารถนำมาเพาะเลี้ยงได้ดีทุกสภาพ มีความอดทนสูงปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำในบ่อได้เร็ว ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้าง ถ้าความเค็มเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ สามารถปรับตัวให้อยู่ในที่ที่มีความเค็มเกือบศูนย์ หรือความเค็มที่เพิ่มขึ้นจนถึง 45 PSU เป็นเวลานานพอสมควร (ชลอ ลิมสุวรรณ, 2535)

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

##### 3.1 การเตรียมระบบบำบัดไนเตรต

ระบบบำบัดไนเตรตในการศึกษานี้ เป็นการพัฒนาต่อจากระบบบำบัดไนเตรตสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรายงานของสุวิมล ต้นทศกิจวิช (2545) ซึ่งประกอบด้วย ท่อสายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 50 เมตร ภายในบรรจุพลาสติกทรงกลมเรียกว่าไบโอบอล (bioball) จำนวน 2,860 ลูก โดยมีความจุน้ำภายในระบบ 20.40 L มีการติดตั้งหัวตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP: HANNA mV600) ที่บริเวณปลายท่อขาออกของระบบ ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกส่งไปบันทึกข้อมูลด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger: DL 2000, Wisco, Thailand) และในช่วงต้นของท่อยาวจะมีช่องสำหรับเติมเมธานอลโดยใช้เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (peristaltic pump, Master Flex C/L Model 77120-52) (ภาพที่ 3-2 ก และ ข )



(ก) ไดอะแกรมแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับระบบบำบัดไนเตรต



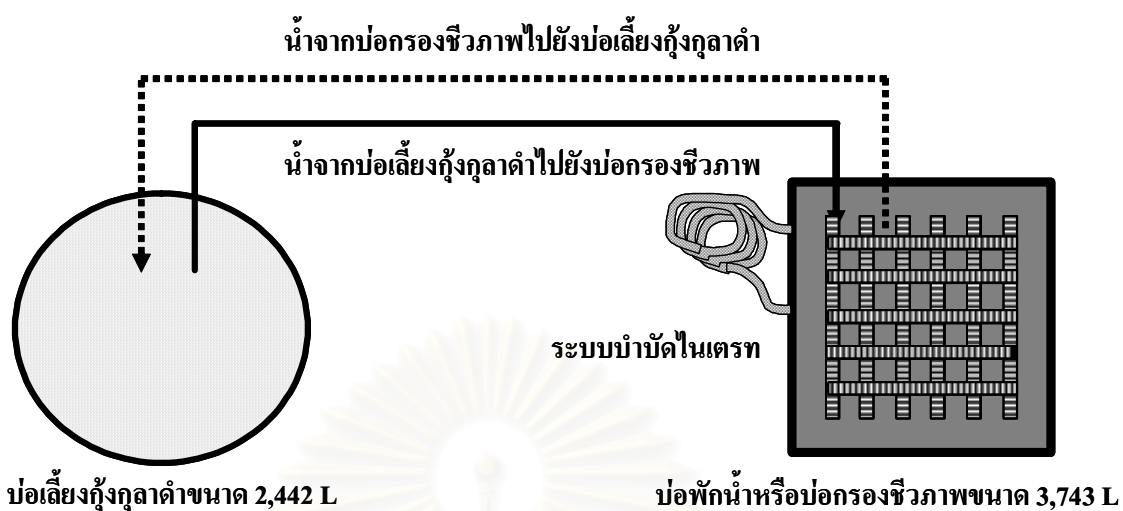
(จ) ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบบำบัดไนเตรต

ภาพที่ 3-2 (ก และ ข) ไลอะแกรมและภาพถ่ายของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อนงานวิจัยนี้

- (1) พลาสติกทรงกลม (bioball) บรรจุภายในสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 2,860 ลูก (2) เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย สำหรับเติมเมธานอลให้กับระบบ (3) หัวตรวจวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

### 3.2 การศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อน โดยใช้น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำที่มีระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

นำระบบบำบัดไนเตรต (หัวข้อ 3.1) มาติดตั้งเข้ากับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดภายในโรงเรือนที่มีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ มีลักษณะเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งรูปกลมขนาดความจุ้น้ำ 2,442 L และมีบ่อบำบัดแอมโมเนียโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นบ่อซีเมนต์ขนาดความจุ้น้ำ 3,743 L ที่ภายในบ่อมีหัวพ่นอากาศและมีวัสดุกรองเส้นใยเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย น้ำทะเลที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นน้ำทะเลความเค็ม 30 PSU จากอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดยน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งจะถูกสูบให้มีการหมุนเวียนไปมาระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งกับบ่อบำบัดอยู่ตลอดเวลา สำหรับระบบบำบัดไนเตรตนั้นจะต่ออยู่กับบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน และมีการหมุนเวียนน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำ (SANSO Model PMD 311) จากบ่อบำบัดไนตริฟิเคชันเข้าสู่ระบบบำบัดไนเตรตที่มีลักษณะเป็นท่อยาวขดเป็นวง น้ำที่ผ่านการบำบัดไนเตรตแล้วจะถูกนำกลับเข้าสู่บ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน รูปแบบของชุดบ่อทดลองและการเชื่อมต่อบ่อเลี้ยงกุ้งกับระบบบำบัดน้ำแสดงในภาพที่ 3-3 และ 3-4 และสภาวะที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3-1



ภาพที่ 3-3 ไดอะแกรมการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อเข้ากับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่มีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ



ภาพที่ 3-4 การติดตั้งระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อต่อกับถังพักน้ำขนาด 3,743 L (1) ถังพักน้ำขนาด 3,743 L (2) ระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อ

ตารางที่ 3-2 สภาวะของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กึ่งกุลาค่าที่มีระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่ใช้ในการศึกษานี้

	บ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กึ่งกุลาค่า	บ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน	ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อ
ลักษณะโดยทั่วไป	บ่อรูปกลม $\phi$ 3.00 m สูง 0.80 m (ความสูงของระดับน้ำ 0.48 m) ทำจากไม้อัดปูผ้าพลาสติก	บ่อซีเมนต์รูปสี่เหลี่ยม ขนาด 1.90x1.97x1.25 m (ความสูงของระดับน้ำ 1.00 m)	ท่อ $\phi$ 2.5 cm ความยาว 50 m ภายในบรรจุไบโอบอล
ความจุน้ำ (L)	2,442	3,743	20.40
ระยะเวลาพักน้ำ (h)	3.39	5.19	2-4 h

การทดลองในส่วนแรกนี้ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรต โดยเน้นสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบบำบัดไนเตรตสามารถบำบัดไนเตรตได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่เกิดการสะสมไนไตรต์และไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ประกอบด้วย การทดลองย่อยจำนวน 3 การทดลอง (หัวข้อ 3.2.1 – 3.2.2) โดยเป็นการทดลองที่ใช้ระบบบำบัดเพียงชุดเดียวและดำเนินการทดลองระบบบำบัดไนเตรตอย่างต่อเนื่องที่ละการทดลอง

### 3.2.1 การศึกษาผลของการเติมเมทานอลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรต

การศึกษาผลของอัตราการเติมและความเข้มข้นของเมทานอล (methanol:  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรต ทำโดยการปรับเปลี่ยนอัตราการเติมหรือความเข้มข้นของเมทานอลที่ถูกเติมเข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัดไนเตรตโดยใช้เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเติบโตและการหายใจของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการลดลงของออกซิเจนและยังเป็นแหล่งของคาร์บอนสำหรับแบคทีเรียในส่วนท้ายของท่อที่จะใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในสภาวะดีไนตริฟิเคชัน โดยการทดลองในหัวข้อนี้แบ่งย่อยออกเป็นสองการทดลองได้แก่

#### 3.2.1.1 ผลของอัตราการเติมเมทานอล

การทดลองนี้ใช้เมทานอลความเข้มข้น 20% (v/v) เติมเข้าสู่ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราการเติมเมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) 3 ระดับ ได้แก่ 25 ml/h,

15 ml/h และ 10 ml/h ในการทดลองจะทำการตรวจวัดประสิทธิภาพของการบำบัดไนเตรตโดยคำนวณจากสูตร

$$E (\%) = ([NO_3\text{-out}] / [NO_3\text{-in}]) * 100$$

E = ประสิทธิภาพการบำบัด

[NO<sub>3</sub>-out] = ความเข้มข้นของไนเตรตที่ออกจากระบบบำบัด

[NO<sub>3</sub>-in] = ความเข้มข้นของไนเตรตที่เข้าสู่ระบบบำบัด

ในระหว่างการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ไนเตรต โดยใช้วิธีวิเคราะห์จาก (Grasshoff, 1999) แอมโมเนียม และไนไตรต์

### 3.2.1.2 ผลของความเข้มข้นของเมธานอล

ทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของเมธานอลที่เดิมเข้าสู่ระบบบำบัดไนเตรตเป็น 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 20 %, 10 % และ 5 % (v/v) โดยใช้อัตราการเติมเมธานอล 10 ml/h ซึ่งเป็นอัตราการเติมเมธานอลที่เหมาะสมที่ได้จากหัวข้อที่ 3.2.1.1 ทำการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำและประเมินประสิทธิภาพการบำบัดเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.1.1

### 3.2.2 การเปรียบเทียบผลของการควบคุมการเติมเมธานอลโดยใช้ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เป็นตัวกำหนด เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมด้วยมือ กับการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2.1.1 และ 3.2.1.2 พบว่าการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในระบบบำบัดมีความสำคัญมากต่อประสิทธิภาพการบำบัด และยังมีผลช่วยป้องกันไม่ให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์หากไนเตรตในน้ำถูกบำบัดจนหมด ดังนั้นระบบบำบัดแบบท่อขายนี้อาจต้องควบคุมให้มีปริมาณไนเตรตหลงเหลืออยู่บ้าง คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดประมาณ 80-90% ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้การตรวจวัดและควบคุมค่า ORP บริเวณปลายท่อ ให้อยู่ระหว่าง -200 ถึง -400 mV

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบการควบคุมการเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบบำบัด โดยการปิดเครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (หยุดการเติมเมธานอล) เมื่อค่า ORP มีค่าลดลงต่ำกว่า -400 mV มีผลให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันถูกยับยั้งและค่า ORP กลับสูงขึ้นเข้าสู่ระดับที่ปลอดภัย (สูงกว่า -200 mV) หลังจากนั้นก็จะทำการเติมเมธานอลเพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอีกครั้งหนึ่ง โดยในช่วงแรกจะเป็นการควบคุมด้วยมือโดยการเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่า ORP เพื่อทำ

การเปิดหรือปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับเติมเมธานอล ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 3 วัน หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนวิธีมาเป็นการปรับตั้งค่าของเครื่องควบคุม ORP (ORP controller: mV600, HANNA Instruments) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับเครื่องสูบน้ำสำหรับเติมเมธานอลให้มีการเปิดและปิดเครื่องสูบน้ำโดยอัตโนมัติตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ล่วงหน้า ในระหว่างการทดลองจะมีการบันทึกค่า ORP ที่ปลายท่อโดยอัตโนมัติทุก 10 นาที และมีการตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดในเครื่อง

### 3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเครื่องในการบำบัดในเครื่องในน้ำของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กึ่งกุลาดำ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเครื่อง ประกอบด้วยชุดการทดลองที่ประกอบด้วยบ่อเลี้ยงกึ่งและบ่อบำบัดในเครื่องพีเคชันจำนวน 2 ชุด มีรูปแบบดังแสดงในภาพ 3-5 โดยบ่อทดลองชุดควบคุมจะไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดในเครื่อง ในขณะที่บ่อชุดทดลองจะมีการติดตั้งระบบบำบัดในเครื่องแบบท่อยาวที่มีการปรับตั้งสภาวะของระบบอย่างเหมาะสมจากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อ 3.2 โดยระบบบำบัดในเครื่องนี้มีระยะเวลาพักเก็บน้ำ 1-3 h และมีการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยระบบอัตโนมัติ

การศึกษาค้างนี้ได้ทำการเลี้ยงกึ่งกุลาดำจากบ่อเลี้ยงกึ่งกุลาดำ ตำบลคลองแปด อำเภอนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีขนาดเฉลี่ย  $24.35 \pm 6.57$  g จำนวน 50 ตัว/บ่อ คิดเป็นความหนาแน่นในการเลี้ยงกึ่งประมาณ 7 ตัว/ตารางเมตร และระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมีความจุน้ำ 7,157 L มีระยะเวลาพักเก็บน้ำ 20 รอบ/วัน ความเค็มของน้ำ 25-32 PSU โดยน้ำทะเลที่ใช้ในการเลี้ยงกึ่งกุลาดำนี้เป็นน้ำทะเลเค็มที่ใช้ต่อมาจากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2 ภายในบ่อมีการวางวัสดุเช่นท่อ PVC และตาข่ายพลาสติกเพื่อเป็นแหล่งหลบซ่อนของกึ่ง (ภาพที่ 3-6) ระยะเวลาในการทดลองรวม 210 วัน

ในระหว่างการทดลอง มีการให้อาหารกึ่งประกอบด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปซีพี 9005 (บริษัทเจริญโภคภัณฑ์อะควอเท็ค จำกัด) เฉลี่ยวันละ 40 กรัม คิดเป็นร้อยละ 3% ของน้ำหนักกึ่งในช่วง 1 เดือนแรกของการเลี้ยง หลังจากนั้นลดปริมาณอาหารลงเนื่องจากมีปริมาณอาหารที่เหลือจากการกินของกึ่งในปริมาณที่มาก ซึ่งจะให้เฉลี่ยวันละ 20 กรัม คิดเป็นร้อยละ 1.6% และเสริมด้วยปลาหมึกสดวันละ 100 กรัม โดยการหว่านอาหารลงในยอขนาด 0.25 ตารางเมตรจำนวนบ่อละ 2 ยอ วางยอทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงยกยอขึ้นเพื่อเก็บรวบรวมเศษอาหารที่เหลือสำหรับนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และทำการนับจำนวนกึ่งที่เหลือในบ่อเพื่อประเมินอัตราการรอด (survival rate) รวมทั้งการชั่งน้ำหนักและวัดความยาว (ก้านตา-ปลายหาง) ของกึ่งทุก 30 วัน (ภาพที่ 3-7) เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Daily weight gain: DWG) น้ำหนักเฉลี่ย และความยาวเฉลี่ย



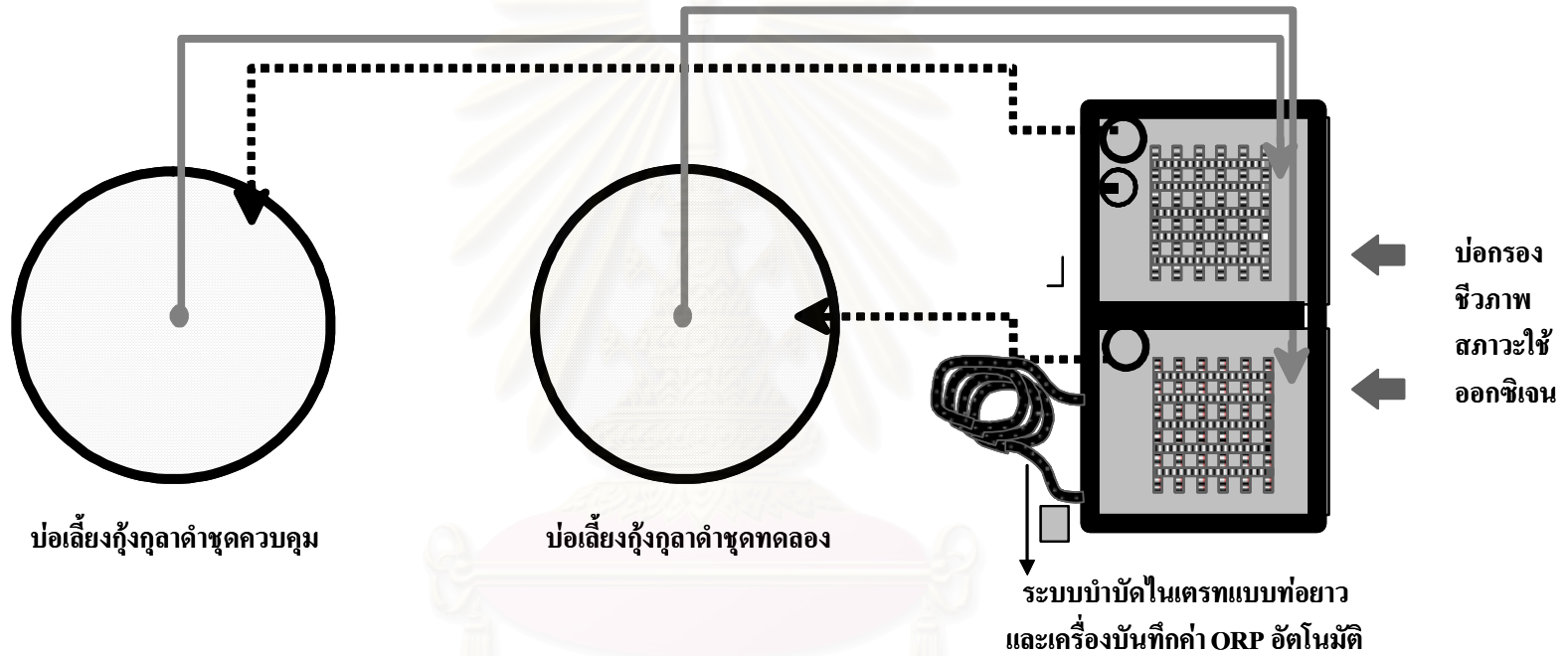
วิธีการคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Daily weight gain (DWG))

$$DWG = (\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายการทดลอง} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นการทดลอง}) / \text{จำนวนวัน}$$

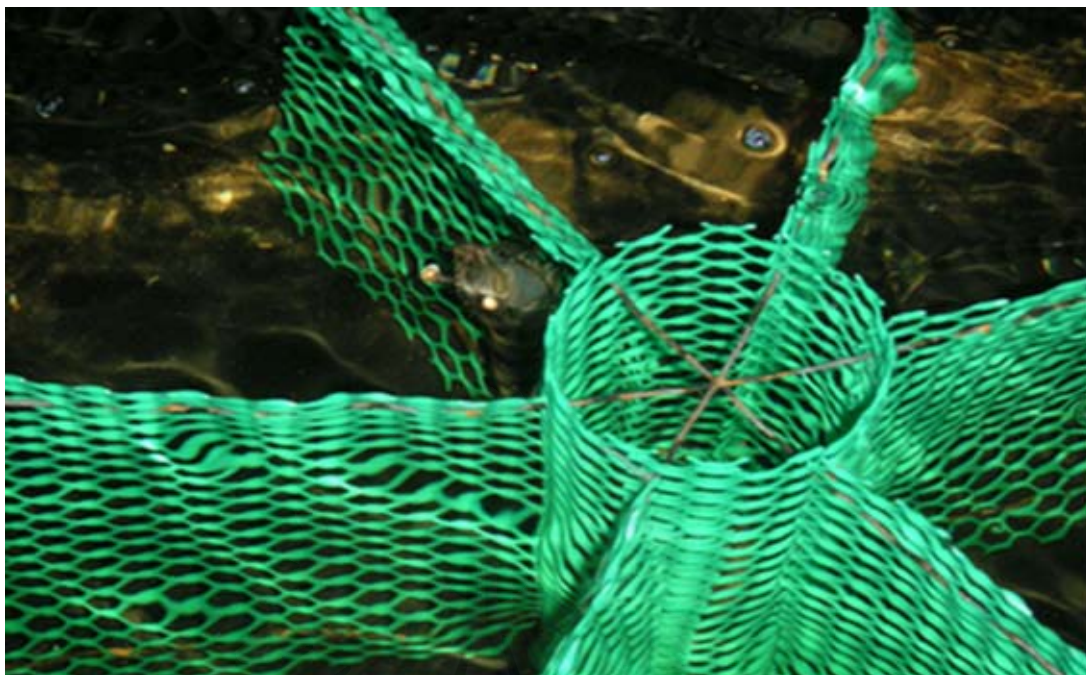
การตรวจสอบคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การตรวจสอบคุณภาพน้ำระหว่างการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเตรตในการบำบัดในเตรตในน้ำของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ

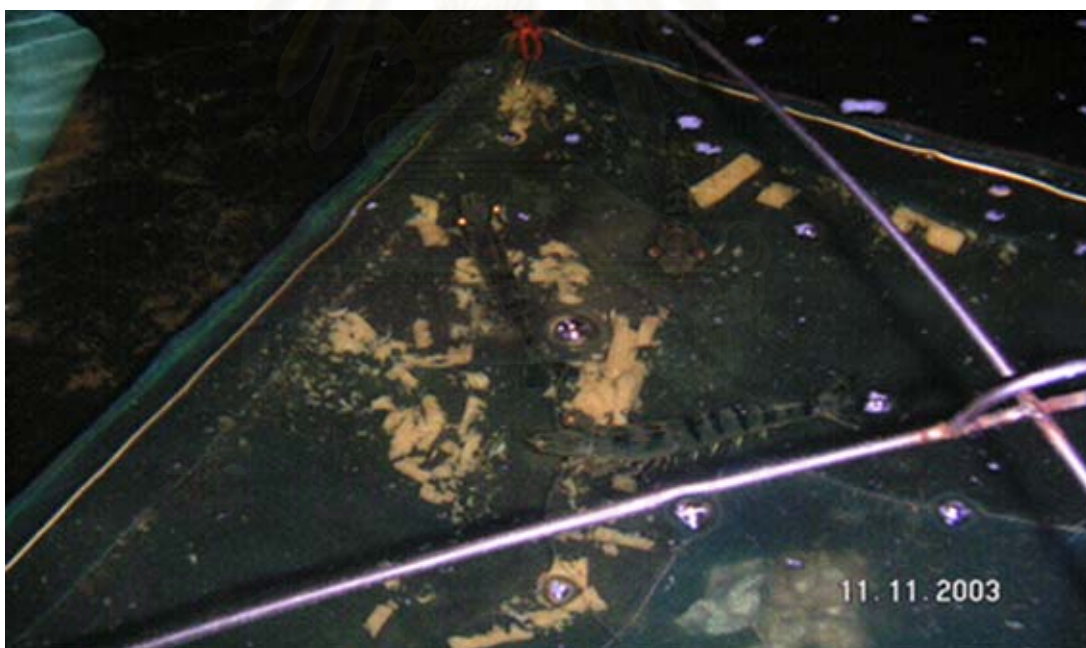
พารามิเตอร์	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์
แอมโมเนีย	ทุก 10 วัน	Strickland and Parsons (1972) หัวข้อ 3.4.1
ไนไตรต์	ทุก 10 วัน	Strickland and Parsons (1972) หัวข้อ 3.4.2
ไนเตรต	ทุก 10 วัน	Strickland and Parsons (1972) หัวข้อ 3.4.3
ฟอสเฟต	ทุก 10 วัน	Strickland and Parsons (1972) หัวข้อ 3.4.6
อัลคาไลน์	ทุก 10 วัน	ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุนน (2535) หัวข้อ 3.4.8
ค่ากรด-ด่าง (pH)	ทุก 10 วัน	pH meter (HANNA HI8418)
อุณหภูมิ	ทุก 10 วัน	pH meter (HANNA HI8418)
ค่าการละลายออกซิเจนในน้ำ	ทุก 10 วัน	DO meter (HANNA HI 91410)
แบคทีเรียทั้งหมดในน้ำ	วันที่ 196 ของการทดลอง	Total bacterial count บนอาหารเพาะเชื้อ Nutrient Agar หัวข้อ 3.4.10
แบคทีเรียสกุล <i>Vibrio</i>	วันที่ 196 ของการทดลอง	นับจำนวนโคโลนีบนอาหารเพาะเชื้อ TCBs หัวข้อ 3.4.11



ภาพที่ 3-5 ไคอะแกรมแสดงชุดการทดลองที่ประกอบด้วยบ่อควบคุมและบ่อทดสอบที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรต

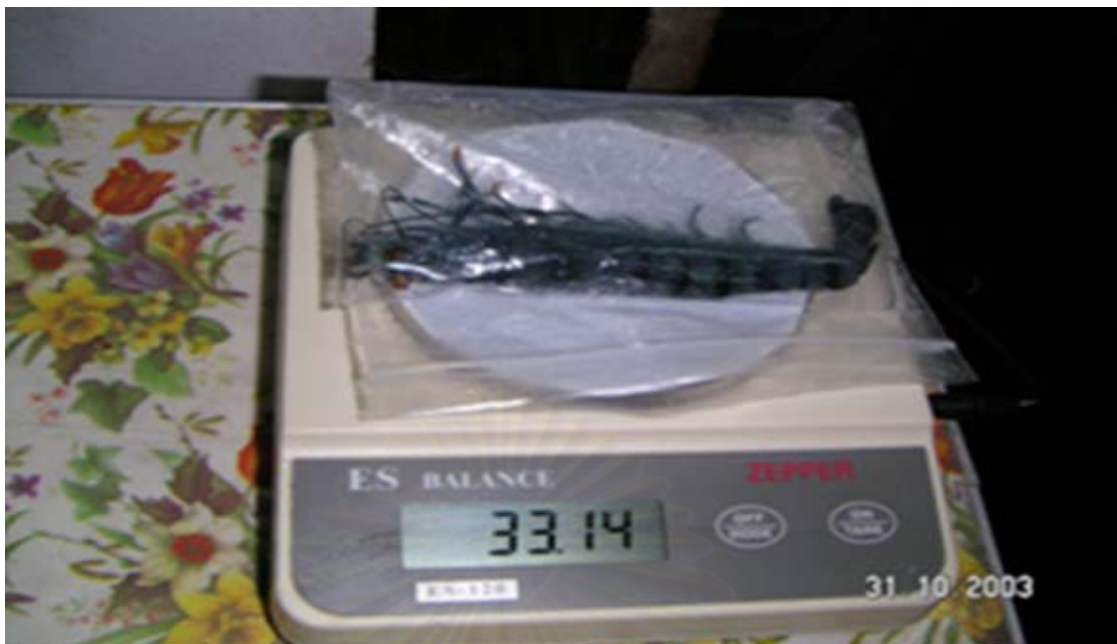


(ก) ตะแกรงสำหรับเป็นที่หลบภัย และเป็นที่ยึดเกาะของกุ้งกุลาดำ



(ข) การให้อาหารกุ้งในขอ และการกินอาหารของกุ้งในขอ

ภาพที่ 3-6 (ก และ ข) การวางอุปกรณ์ต่างๆ ภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อเป็นที่หลบภัย และเป็นที่ยึดเกาะของกุ้งกุลาดำ และการให้อาหารกุ้งในขอ เพื่อความสะดวกในการเก็บเศษอาหารเหลือ



(ก) การชั่งน้ำหนักกุ้งกุลาดำ



(ข) การวัดความยาวกุ้งกุลาดำโดยทำการวัดตั้งแต่โคนตาถึงปลายหาง

ภาพที่ 3-7 (ก และ ข) การศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำของบ่อชุดควบคุม และบ่อชุดทดลอง ด้วยการชั่งน้ำหนักกุ้งกุลาดำ และการวัดความยาวของกุ้งกุลาดำ

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการเลี้ยงกุ้งอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน 7 เดือน ในระหว่างการทดลองจึงได้มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสถานะของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาวเพิ่มเติม รายละเอียดของการทดลองแสดงในหัวข้อ 3.3.1-3.3.4

### 3.3.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดในเตรตของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาว 1 รอบของการบำบัด ก่อน และ หลังการล้างไบโอบอลในระบบ

หลังจากที่เริ่มการทดลองบำบัดในเตรตในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมาแล้วเป็นเวลา 81 วัน พบการอุดตันของระบบจากมวลชีวภาพของแบคทีเรียที่เติบโตอยู่ในท่อเนื่องจากได้ทำการทดลองเดินระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานานมากกว่า 6 เดือน ในช่วงที่ทำการทดลองในหัวข้อ 3.2 จึงได้ทำการหยุดระบบบำบัดเพื่อทำการนำไบโอบอลในท่อยาวออกมาล้างทำความสะอาด หลังจากประกอบระบบบำบัดใหม่ จึงทำการปรับอัตราการไหลของน้ำในระบบ (ปรับระยะเวลาพักน้ำ) แล้วจึงทำการตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดในเตรตอีกครั้งหนึ่ง โดยทำการตรวจวัดปริมาณไนเตรตที่ออกจากระบบบำบัดเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรตขาเข้า (น้ำในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน) และติดตามการเปลี่ยนแปลงของ ORP ในส่วนท้ายของระบบท่อยาวทุก 10 นาทีด้วยระบบบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ โดยในแต่ละรอบการบำบัดจะเริ่มต้นจากค่า ORP ที่ตั้งค่าไว้สำหรับการเริ่มต้นการเติมเมธานอล (-200 mV) ซึ่งระบบจะทำการเติมเมธานอลความเข้มข้น 5% ด้วยอัตรา 10 ml/h อย่างต่อเนื่องเข้าสู่ส่วนต้นของท่อ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการบำบัดไนเตรตขึ้นภายในระบบและทำให้ค่า ORP ที่ปลายท่อยาวมีค่าลดลงจนถึงระดับที่ตั้งไว้ (-400 mV) ระบบควบคุมก็จะหยุดการเติมเมธานอลทำให้ค่า ORP กลับสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า 1 รอบของการบำบัด และการประเมินประสิทธิภาพของการบำบัดในแต่ละรอบจะประเมินจากค่าเฉลี่ยร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัด (%Efficiency) ในแต่ละรอบของการบำบัด

### 3.3.2 การประเมินค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมการเติมเมธานอลให้กับระบบบำบัดในเตรตโดยอัตโนมัติ

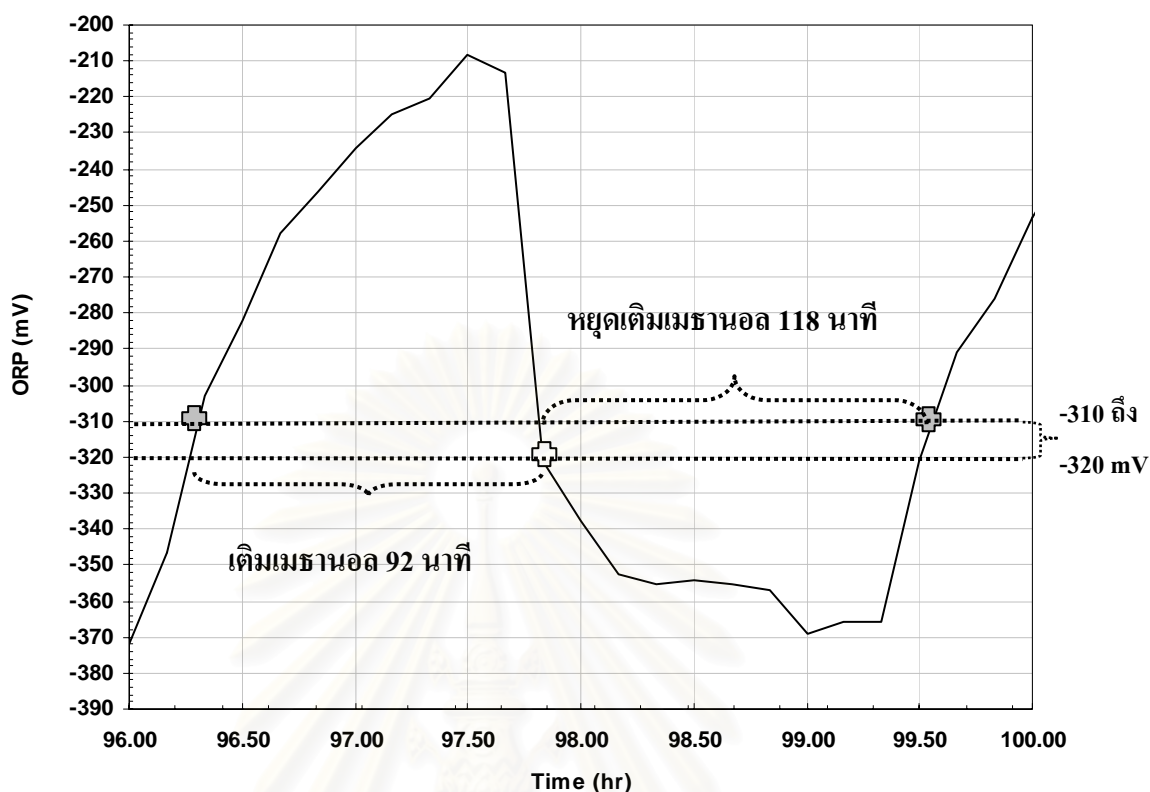
ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP ที่ส่วนท้ายของระบบ กับประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตในแต่ละรอบของการบำบัด โดยตรวจวัดต่อเนื่องกันจำนวน 1 รอบในแต่ละช่วงของการทดลอง และทำการปรับเปลี่ยนช่วงของค่า ORP ที่ใช้ในระบบควบคุมการเติมเมธานอลอัตโนมัติตามตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 การทดลองปรับเปลี่ยนค่า ORP ในโปรแกรมระบบควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติ

	ระยะเวลาที่ทดลอง	การปรับตั้งโปรแกรมควบคุมการเติมเมธานอล	
		ค่า ORP ต่ำสุด (mV)	ค่า ORP สูงสุด (mV)
1	74 วัน (วันที่ 16/6/2003– 28/8/2003)	-400	-200
2	50 วัน (วันที่ 28/8/2003 – 17/10/2003)	-330	-300
3	155 วัน (วันที่ 17/10/2003 – 20/3/2004)	-320	-310

### 3.3.3 การควบคุมการเติมเมธานอลด้วยเครื่องตั้งเวลา

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของวิธีควบคุมการเติมเมธานอลระหว่างการควบคุมโดยใช้ค่า ORP ที่ได้จากหัวตรวจวัดมาควบคุมการเปิดและปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบบำบัด เปรียบเทียบกับการควบคุมด้วยเครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติที่ปรับตั้งเวลาการเปิดและปิดเลียนแบบเวลาที่เครื่องควบคุมใช้ในการเปิดและปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับเติมเมธานอลตามเวลาในวงรอบของการบำบัด ซึ่งจากผลการทดลองในภาพที่ 3-9 พบว่าใน 1 รอบการบำบัดจะมีการเดินของเครื่องสูบน้ำเพื่อเติมเมธานอลประมาณ 92 นาที และมีการหยุดประมาณ 118 นาที เนื่องจากเครื่องตั้งเวลาสามารถตั้งเวลาสูงสุดได้เพียง 99 นาทีเท่านั้น จึงได้ทำการปรับตั้งเครื่องตั้งเวลาให้ทำการเติมเมธานอลความเข้มข้น 5% ด้วยอัตรา 10 ml/h อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 99 นาที หลังจากนั้นจะหยุดการเติมเมธานอลเป็นเวลา 99 นาที สลับกันไป ในระหว่างการทดลองจะทำการบันทึกค่า ORP ทุก 1 ชั่วโมง และตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดในตรงทุก 24 ชั่วโมง รวมทั้งตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดในตรงในวงรอบของการบำบัด



ภาพที่ 3-8 ช่วงเวลาของการเติมเมธานอล และหยุดเติมเมธานอล ใน 1รอบ มีการควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติเมื่อ ค่า ORP อยู่ระหว่าง -310 และ -320 mV

### 3.3.4 ผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดในเตรต

ในช่วงท้ายของการทดลองเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ ได้มีการเพิ่มความเค็มของน้ำในระบบทดลองจาก 25 เป็น 32 PSU เพื่อช่วยกระตุ้นการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ของกุ้ง ส่งผลให้ความเค็มของน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดในเตรตเปลี่ยนแปลงไป การทดลองในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำต่อประสิทธิภาพในการบำบัดในเตรตของระบบบำบัดแบบท่อยาว โดยมีการปรับตั้งระบบควบคุมการเติมเมธานอลอัตโนมัติให้มีการเติมเมธานอลในระหว่างค่า ORP -310-320 mV และติดตามการเปลี่ยนแปลงของ ORP และประสิทธิภาพในการบำบัดในเตรตในวงรอบของการบำบัด

### 3.4 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

#### 3.4.1 วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียม

การวิเคราะห์แอมโมเนียมในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียมซึ่งดัดแปลงมาจาก Strickland and Parson (1972)

เก็บน้ำตัวอย่างน้ำ 30 มิลลิลิตร ควรทำการวิเคราะห์ทันที ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-15^{\circ}\text{C}$  หรือแช่เย็นโดยเติมฟีนอล (phenol) 1 ml ต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง 25 ml ซึ่งถ้าเก็บรักษาด้วยวิธีดังกล่าวจะสามารถเก็บตัวอย่างได้ถึง 2 สัปดาห์

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 5 ml ลงในหลอดแก้ว โดยใช้น้ำ De-ionized เป็น Blank เติม phenol solution 0.2 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติม sodium nitroprusside solution 0.2 ml เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติม oxidizing solution 0.5 ml เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ( $20-27^{\circ}\text{C}$ ) ประมาณ 1 ชั่วโมง (ปิดปากหลอดแก้วด้วย parafilm สีที่เกิเกิดขึ้นคงอยู่ภายใน 24 ชั่วโมง หลังทำปฏิกิริยา) นำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 640 nm จากนั้นเตรียม standard ammonia solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.1 0.2 และ 0.4  $\text{mgNH}_4\text{-N/L}$  ตามลำดับจาก stock ammonia solution (ความเข้มข้น 200  $\text{mgNH}_4\text{-N/L}$ ) (กราฟมาตรฐานแสดงภาคผนวก ก)

#### 3.4.2 วิธีวิเคราะห์ไนไตรต์

การวิเคราะห์ไนไตรต์ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนไตรต์ ซึ่งดัดแปลงมาจาก Strickland and Parson (1972)

เก็บตัวอย่างน้ำ 25 ml ด้วยขวดพลาสติก Polyethylene ขนาด 30 ml ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-15^{\circ}\text{C}$

ปิเปตน้ำตัวอย่างมา 5 ml ลงในหลอดแก้ว โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank เติม sulfanilamide solution 0.1 ml โดยใช้ automatic pipette ลงในน้ำตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาทีแต่ไม่เกิน 10 นาที จากนั้นเติม naphthylethylenediamine reagent 0.1 ml และเขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้ 10 นาทีหรือไม่เกิน 2 ชั่วโมงหลังเติมสารแล้วทำการวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 543 nm จากนั้นเตรียม standard nitrite solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.07 0.14 และ 0.28  $\text{mgNO}_2\text{-N/L}$  ตามลำดับจาก stock nitrite solution (ความเข้มข้น 140  $\text{mgNO}_2\text{-N/L}$ ) (กราฟมาตรฐานแสดงภาคผนวก ก)



### 3.4.3 วิธีวิเคราะห์ไนเตรต (สำหรับน้ำทะเล)

การวิเคราะห์ไนเตรตในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนเตรต ซึ่งดัดแปลงมาจาก Strickland and Parson (1972)

เก็บตัวอย่างน้ำ 25 ml ด้วยขวดพลาสติก Polyethylene ขนาด 30 ml ถ้ายังไม่ทำการวิเคราะห์ควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  ในกรณีที่มีตัวอย่างมี phytoplankton อยู่มาก ควรกรองน้ำตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์

#### การเตรียมเม็ดแคดเมียม-คอปเปอร์

เม็ดแคดเมียม-คอปเปอร์ ในการวิเคราะห์ไนเตรตนี้ ได้ดัดแปลงวิธีการนำน้ำตัวอย่างผ่านคอลัมน์บรรจุแคดเมียม โดยอาศัยเครื่องสูบน้ำชนิดสาย (Peristaltic pump, Master Flex C/L Model 77120-60) ซึ่งปรับอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างได้ง่าย และลักษณะของคอลัมน์ที่บรรจุแคดเมียม มีขนาดเล็กกว่าคอลัมน์ที่ใช้วิธีมาตรฐาน ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำตัวอย่างได้ ซึ่งคอลัมน์แคดเมียมนี้สร้างขึ้นจากหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ภายในบรรจุแคดเมียมมีสำลีสองอยู่ด้านล่างและด้านบนของคอลัมน์ และปลายทั้งสองของคอลัมน์ต่อกับสายซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.2 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการนำน้ำผ่านและออกจากคอลัมน์ซึ่งติดอยู่กับเครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (peristaltic pump) ในการเตรียมแคดเมียมนี้ ได้ใช้เม็ดแคดเมียมประมาณ 5 g ต่อ 1 คอลัมน์ นำเม็ดแคดเมียมใส่ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 2% w/v ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 250 ml และคนจนกระทั่งสีน้ำเงินของสารคอปเปอร์ซัลเฟตจางลง ล้างเอาตะกอนที่น้ำตาลแดงเกิดขึ้นออกด้วยน้ำกลั่น ทำซ้ำจนกระทั่งไม่มีตะกอนสีน้ำตาลเกิดขึ้น จากนั้นนำเม็ดแคดเมียม-คอปเปอร์ใส่ลงในคอลัมน์สำหรับวิเคราะห์ไนเตรตโดยใส่ลำดับบางๆ ลงในคอลัมน์ก่อนที่จะเทสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางลงไป จากนั้นจึงค่อยใส่เม็ดแคดเมียม-คอปเปอร์ซ้ำๆ จนได้ความสูงประมาณ 8 เซนติเมตร ไม่ควรปล่อยให้คอลัมน์แห้งขณะทำการบรรจุเม็ดแคดเมียม-คอปเปอร์ และควรมีสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางอยู่ในคอลัมน์ตลอดเวลา ปรับอัตราการไหลผ่านคอลัมน์เท่ากับ 6-8 ml/ นาที โดยใช้น้ำกลั่นหรือสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง และควรทำการ Activate เม็ดแคดเมียม หลังจากที่ผ่านมาตัวอย่างมาแล้วหลายครั้ง โดยเทเม็ดแคดเมียมออกจากคอลัมน์และใช้ 5%v/v สารละลายกรดไฮโดรคลอริกล้างและใช้น้ำกลั่นจน  $\text{pH} > 5$  และทำการ Activate เม็ดแคดเมียมตามขั้นตอนข้างต้น

#### การวิเคราะห์

เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 1 ml ลงในน้ำทะเลตัวอย่าง 50 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วจึงรีดสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางให้ไหลผ่านลงในคอลัมน์ประมาณ 15 ml จากนั้นรีดน้ำตัวอย่างผ่านคอลัมน์ทิ้งไป 15 ml แล้วจึงเก็บ 20 ml ต่อมา จากนั้นจึงปล่อยส่วนที่เหลือทิ้ง แล้วจึงรีดสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางให้ไหลผ่านลงในคอลัมน์ประมาณ 15 ml แล้วทำการวิเคราะห์ตัวอย่างต่อไป นำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์มาเติม sulfanilamide solution 0.1 ml โดย

ใช้ automatic pipette ลงในน้ำทะเลตัวอย่างปริมาตร 5 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาทีแต่ไม่เกิน 10 นาที เติม naphthylethylenediamine reagent 0.1 ml และเขย่าให้เข้ากันทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีหรือไม่เกิน 2 ชั่วโมงหลังจากเติมสารแล้ว ทำการวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 nm จากนั้นเตรียม standard nitrate solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.1 0.2 และ 0.3 mgNO<sub>3</sub>-N/L ตามลำดับจาก stock nitrate solution (ความเข้มข้น 100 mgNO<sub>3</sub>-N/L) (กราฟมาตรฐานแสดงภาคผนวก ก)

#### 3.4.4 วิธีวิเคราะห์ไนเตรต ดัดแปลงจากวิธีของ Greenberg *et. al.* (1992)

เก็บตัวอย่างน้ำ 25 ml ด้วยขวดพลาสติก Polyethylene ขนาด 30 ml ถ้ายังไม่ทำการวิเคราะห์ควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C และควรกรองน้ำตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตในน้ำด้วยวิธีนี้จะทำการวัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 220 nm และ 275 nm ตามลำดับ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank สำหรับการวัด ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณไนเตรตต่อไป จากนั้นเตรียม standard nitrate solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 4 6 และ 8 mgNO<sub>3</sub>-N/L ตามลำดับจาก stock nitrate solution (ความเข้มข้น 100 mgNO<sub>3</sub>-N/L) (กราฟมาตรฐานแสดงภาคผนวก ก)

#### 3.4.5 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีของ Grasshoff (1999)

##### การเตรียม Oxidizing reagent

ละลาย the purified potassium peroxodisulphate (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) 5 g และ boric acid (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) ในสารละลาย NaOH 0.375 mol/L 100 ml เก็บในขวดพลาสติกที่หุ้มด้วย aluminium foil อุณหภูมิห้อง

##### การเตรียมตัวอย่าง

นำน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด มา 50 ml บรรจุใน flask และเติม Oxidizing reagent (ข้อที่ 3.5.5.1) 5 ml ผสมให้เข้ากัน จากนั้น นำไป autoclaved ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ไนเตรต ด้วยวิธีของ Strickland and Parsons, 1972 (ข้อที่ 3.5.3)

#### 3.4.6 วิธีวิเคราะห์ฟอสเฟต

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัส ซึ่งดัดแปลงมาจาก Strickland and Parson (1972)

เก็บตัวอย่างน้ำ 25 ml ด้วยขวดพลาสติก Polyethylene ขนาด 30 ml ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 °C

เปิดน้ำตัวอย่างมา 5 ml ลงในหลอดแก้ว โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น Blank เติม mixed reagent 0.5 ml โดยใช้ automatic pipette ลงในน้ำตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 10 นาทีขึ้นไป จากนั้น ทำการวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 885 nm จากนั้นเตรียม standard phosphate solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.4 0.8 และ 1 mg PO<sub>4</sub>-P/L ตามลำดับจาก stock phosphate solution (ความเข้มข้น 100 mgPO<sub>4</sub>-P/L) (กราฟมาตรฐานแสดงใน ภาคผนวก ก)

### 3.4.7 วิธีตรวจสอบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัด ดัดแปลงจากวิธีของ Grasshoff (1999)

เก็บตัวอย่างน้ำ 50 ml ด้วย Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml โดยให้ปลายสายยางของท่อน้ำออกจากระบบบำบัดในตรงต๊ะที่กั้นขวด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศ เมื่อได้ปริมาณที่ต้องการ ให้ปิดด้วย parafilm และทำการตรวจสอบทันที

นำน้ำตัวอย่างมา 50 ml เติม สารละลาย NNDP 0.5 ml โดยให้ปลายปิเปตต๊ะที่กั้นขวด แล้วเติม สารละลาย FeCl<sub>3</sub> 0.5 ml เขย่าให้เข้ากัน โดยใช้ น้ำกลั่นไม่มีออกซิเจนเป็น Blank ถ้าน้ำมีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารละลายจะมีสีดำ

### 3.4.8 วิธีวัดค่าอัลคาไลน์ตี (Alkalinity) ดัดแปลงจากวิธีของ ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน (2535)

เก็บตัวอย่างน้ำ 100 ml ด้วย Beaker ขนาด 250 ml ทำการวัด ค่าอัลคาไลน์ตีทันที แล้วนำน้ำตัวอย่างมา 100 ml ใส่ใน Beaker ขนาด 250 ml ซึ่งมี pH probe จุ่มอยู่ แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.01 mol/L จนกระทั่ง pH ของตัวอย่างน้ำเปลี่ยนมาที่ค่า pH เท่ากับ 4 ปริมาตรของกรดซัลฟูริก 0.01 mol/L ที่ใช้ในการไทเทรตจะนำไปคำนวณเพื่อหา อัลคาไลน์ตี ดังนี้

$$\text{อัลคาไลน์ตี} = \frac{\text{ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต (ml)} \times 1,000 \times 0.01 \text{ mol/L} \times 2 \times 50}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}}$$

### 3.4.9 วิธีวิเคราะห์โปรตีนในอาหารและในกึ่งกลูตาต้า คัดแปลงจากวิธีของ Association of official Analytical Chemist, (1980)

ชั่งตัวอย่างอาหารแห้งประมาณ 2 g ใส่ใน digestion tube เติม catalyst 10.01 g ลงไปแล้วเติม  $H_2SO_4$  เข้มข้น 25 ml นำ digestion tube ใส่ใน rack แล้วนำ rack ไปใส่ใน Kjeldatherm digestion block ที่ทำให้เกิดการย่อยจนได้สารประกอบสีดำนี้อายุประมาณ 20 นาที เริ่มตั้งอุณหภูมิเครื่อง Kjeldatherm digestion block ไว้ที่  $100\text{ }^{\circ}C$  แล้วเพิ่มอุณหภูมิ  $20\text{ }^{\circ}C$  ทุก ๆ ประมาณ 15-20 นาทีจนอุณหภูมิถึง  $380\text{ }^{\circ}C$  ปล่อยให้สารละลายมีอุณหภูมิลดลง จนถึงอุณหภูมิห้อง

#### การกลั่นสารละลายเพื่อนำไปหาโปรตีน

เติม 4% boric acid 100 ml ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 ml หยด tashiro indicator ลงไป 5-6 หยด จะได้สารละลายสีม่วง นำ drainage tube ที่มีตัวอย่างที่ dilute แล้วนำไปวางบน clamp โดยให้ส่วนปลายเปิด ของ tube แนบสนิทกับ cone-shaped rubber stopper เมื่อน้ำเดือดเป็นไอให้เติม 50 % NaOH Solution ใน digestion tube จะทำให้สารละลายใน digestion tube จะเกิดฟองแก๊สเติม 50 % NaOH Solution ไปเรื่อย ๆ จนไม่เกิด ฟองขึ้น และมากเกินพอ ประมาณ 10 ml ถ้าตัวอย่างอาหารมีสารประกอบไนโตรเจนมาก สีของสารละลาย boric acid + tashiro indicator จะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว ในขั้นตอนนี้จะปล่อยให้ น้ำไหลเข้า condenser ตลอดเวลา เพื่อให้แก๊ส  $NH_3$  ควบแน่นไหลลงสู่ flask ที่บรรจุ boric acid จนมีปริมาตรประมาณ 300 ml นำ flask ที่มี boric acid + tashiro indicator ไป titrate กับสารละลาย standard  $H_2SO_4$  ความเข้มข้นประมาณ 0.5 N จนถึงจุดยุติสารละลายใน flask จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน

#### การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรด $H_2SO_4$

เปิดสารละลาย NaOH 1 N มา 10 ml เติม Phenolphthalein 2-3 หยด นำไป titrate กับ standard  $C_8H_5KO_4$  0.4 N ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากชมพูเป็นใสไม่มีสี แล้วคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH โดยใช้สมการ

#### การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\% \text{ Protein} = \frac{1400 \times N_s \times V_s \times N_p}{\text{Weight of sample (g)} \times 100}$$

โดยที่  $N_s$  = ความเข้มของสารละลาย  $H_2SO_4$  ที่ใช้ในการ titrate  
 $N_p$  = conversion factor  
 $V_s$  = ปริมาตรสารละลาย  $H_2SO_4$  ที่ใช้ในการ titrate

### 3.4.10 การนับจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำ

วิธีที่ใช้ในการศึกษาคือ Dilution plate count เป็นการนับจำนวนจุลินทรีย์ที่ใช้เทคนิคที่ทำให้เชื้อตัวอย่างเจือจาง (dilution) โดยการทำให้เชื้อเจือจางนั้น จะทำให้มีการเจริญเติบโตของ colony เดี่ยวที่เหมาะสม ซึ่งความเจือจางที่เหมาะสม ควรเป็นความเจือจางที่มี colony ของเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อระหว่าง 30-300 colony หรือ colony forming unit (CFU) โดยปกติจะทำให้เชื้อเจือจางเพิ่มขึ้น 10 เท่าเป็นลำดับ (ten fold serial dilution) เพื่อต่อการปฏิบัติ และการคำนวณจำนวน colony ต่อหน่วยนับ (g หรือ ml)

เตรียม water blank คือ น้ำเค็ม 32 PSU โดยนำไปนิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 20 นาทีบรรจุหลอดละ 9 ml (สำหรับทำ dilution )

จากนั้นนำตัวอย่างที่ต้องการศึกษามา 1 ml เติมลงใน water blank ที่ผ่านการนิ่งฆ่าเชื้อแล้วบรรจุในหลอดแก้ว 9 ml ผสมน้ำตัวอย่างและ water blank ให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายที่ได้จากการผสมมา 1 ml เติมลงใน water blank ที่ผ่านการนิ่งฆ่าเชื้อแล้วบรรจุในหลอดแก้ว 9 ml ผสมน้ำตัวอย่างและ water blank ให้เข้ากัน จะได้น้ำตัวอย่างที่มีเชื้อจุลินทรีย์เจือจางอยู่  $10^{-2}$  เท่า แล้วทำการเจือจางตัวอย่างให้ได้  $10^{-3}$  เท่า (โดยทั่วไปจะใช้ตัวอย่างเจือจาง  $10^{-3}$  เท่า)

เตรียมอาหาร tryptone glucose yeast extract agar (TGY) โดยหลอมอาหารแล้วเทลงใน plate ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำตัวอย่างที่เจือจาง  $10^{-3}$  เท่าของแต่ละชุดการทดลอง ปริมาณ 0.1 ml ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ แล้วทำการ spread plate (ทำซ้ำตัวอย่างละอีก 2 จาน จะได้จานเพาะเชื้อ ทั้งหมด 6 จาน) นำเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 2 วัน แล้วทำการนับ colony ที่เกิดขึ้น ถ้าตัวอย่างที่เจือจางที่  $10^{-3}$  เท่า นับได้ 120 colony จะได้แบคทีเรียในน้ำตัวอย่าง 1 ml เท่ากับ  $120 \times 10^4$  หรือ  $1.2 \times 10^6$  CFU (CFU คือ colony forming unit ต่อ g หรือ ml)

### 3.4.11 การตรวจหาแบคทีเรียชนิด *Vibrio* sp. ในน้ำเลี้ยงกุ้งทั้งสองชุดการทดลอง

มีวิธีการศึกษาล้ายกับ การนับแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำ และอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Vibrio* sp. นี้ คือ Thiosulfate citrate bile salt sucrose agar (สมบัติ รักรประทานพร, 2542) ซึ่งใช้สำหรับตรวจหา *Vibrio* sp ในน้ำตัวอย่างทั้งสองชุดการทดลอง โดย colony ที่พบในจานเลี้ยงเชื้อจะมีลักษณะเป็น colony สีเหลือง และสีเขียว

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

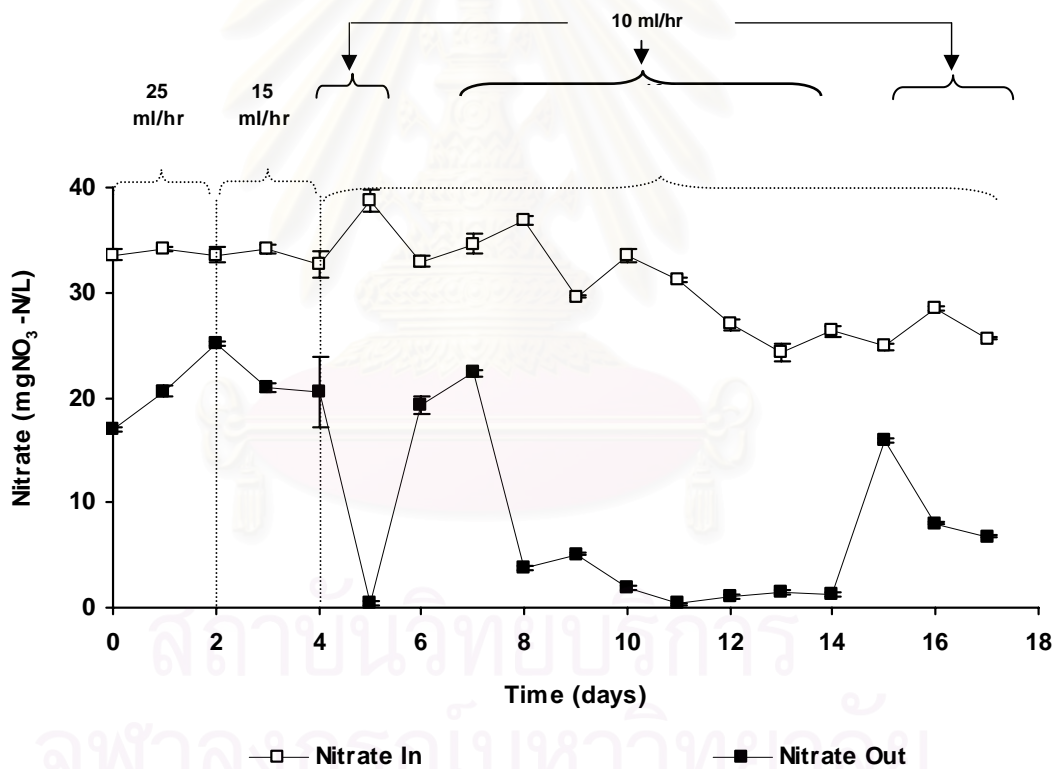
#### 4.1 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดไนเตรตอย่างมีประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรต โดยใช้น้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

ในการศึกษาการปรับตั้งสถานะของระบบบำบัดให้สามารถบำบัดไนเตรตได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่เกิดการสะสมไนไตรต์และไม่เกิดการลดซัลเฟตซึ่งจะส่งผลให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในระบบ ได้มุ่งเน้นไปที่ปริมาณและรูปแบบของการเติมคาร์บอนซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้เมธานอลเป็นแหล่งของคาร์บอนสำหรับแบคทีเรียในระบบบำบัดไนเตรต โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสามส่วน ได้แก่ ผลของอัตราการเติมเมธานอล ผลของความเข้มข้นของเมธานอล และการศึกษาวิธีการควบคุมการเติมเมธานอล ซึ่งรายละเอียดของผลการทดลองอยู่ในหัวข้อ 4.1.1 - 4.1.3 ตามลำดับ

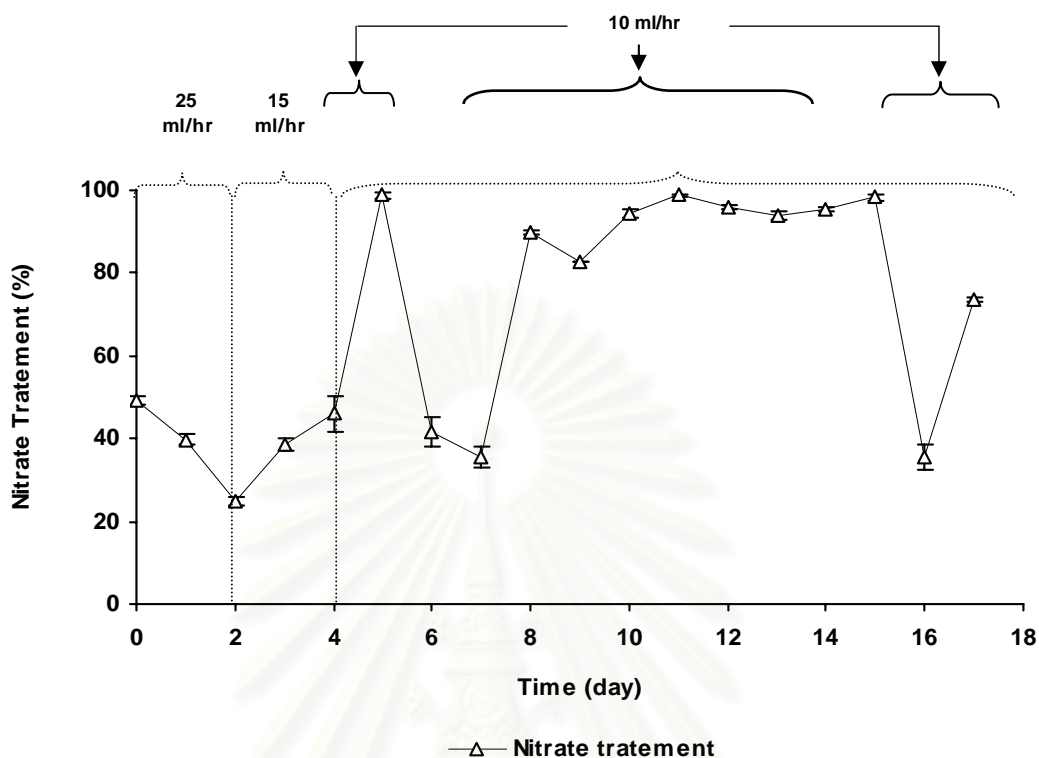
##### 4.1.1 ผลของอัตราการเติมเมธานอล

การศึกษาอัตราการเติมเมธานอลที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อ ทำโดยปรับตั้งอัตราการเติมเมธานอลเข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัดโดยปรับตั้งอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำแบบรีดสายเป็น 3 ระดับ คือ 25 ml/hr, 15 ml/hr และ 10 ml/hr โดยใช้เมธานอลที่มีความเข้มข้น 20% และปรับตั้งระยะเวลากักน้ำ (retention time) ประมาณ 3 ชั่วโมงตลอดการทดลอง ผลการทดลองพบว่าในช่วงสองวันแรกนับจากวันที่เริ่มต้นการทดลอง การปรับอัตราการเติมเมธานอล 25 ml/hr สามารถลดความเข้มข้นของไนเตรตที่เข้าสู่ระบบบำบัดซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่า 30 mgNO<sub>3</sub>-N/L ให้เหลือประมาณ 17-26 mgNO<sub>3</sub>-N/L (ภาพที่ 4-9) คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดระหว่าง 25-50 % (ภาพที่ 4-10) และพบการสะสมของไนไตรต์ในน้ำหลังจากผ่านการบำบัดโดยมีความเข้มข้น 8-14 mgNO<sub>2</sub>-N/L (ภาพที่ 4-11) แต่ไม่มีการสะสมของแอมโมเนีย (ภาพที่ 4-12) จะเห็นได้ว่า แม้ว่าอัตราการเติมเมธานอลที่ระดับ 25 ml/hr นั้น สามารถทำให้ระบบบำบัดไนเตรตได้ก็ตาม สิ่งที่พบก็คือปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมไนไตรต์ จากนั้นจึงทำการลดระดับอัตราการเติมเมธานอลเป็น 15 ml/hr พบว่า ในวันที่ 3 และวันที่ 4 ของการทดลองระบบสามารถบำบัดไนเตรตที่เข้าสู่ระบบที่มีมากกว่า 30 mgNO<sub>3</sub>-N/L ให้เหลือประมาณ 20 mgNO<sub>3</sub>-N/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 38-49 % แต่ก็ยังพบการสะสมของไนไตรต์ที่ระดับความเข้มข้น 13-23 mgNO<sub>2</sub>-N/L จะเห็นได้ว่าอัตราการเติมเมธานอลที่ระดับ 15 ml/hr นั้น สามารถทำให้ระบบบำบัดไนเตรตได้ แต่ยังเป็นปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์

การลดระดับอัตราการเติมเมธานอลลงเหลือ 10 ml/hr ตั้งแต่วันที่ 4 จนถึงวันที่ 17 ของการทดลอง พบว่าระบบสามารถบำบัดไนเตรตที่เข้าสู่ระบบจากความเข้มข้น 32 mgNO<sub>2</sub>-N/L เหลือ 0.47 mgNO<sub>2</sub>-N/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 98 % ส่วนไนไตรต์และแอมโมเนียมีปริมาณต่ำมาก ( $0.50 \pm 0.04$  mgNO<sub>2</sub>-N/L และ  $0.25 \pm 0.10$  mgNH<sub>4</sub>-N/L ตามลำดับ) แต่ปัญหาที่พบคือการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นภายในระบบ โดยเฉพาะที่บริเวณส่วนท้ายของท่อ จึงต้องทำการหยุดเติมเมธานอลชั่วคราวในระหว่างวันที่ 5-6 และวันที่ 15-16 ของการทดลอง พบว่าหลังจากหยุดเติมเมธานอลให้กับระบบจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตลดลงจาก 98% เหลือ 41% ในเวลาประมาณ 1 วัน และกลิ่นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ก็จะหายไป แต่หลังจากเริ่มเติมเมธานอลพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบสามารถกลับคืนเข้าสู่สภาวะปกติได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาน้อยกว่า 1 วัน

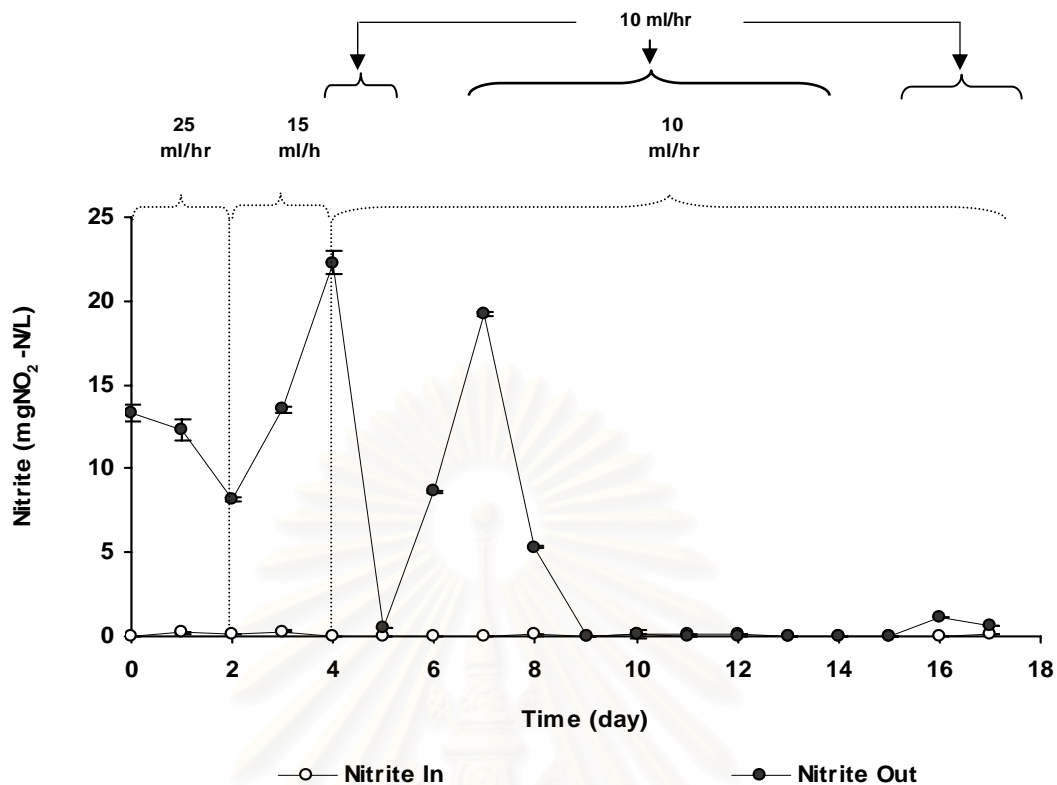


ภาพที่ 4-9 ปริมาณไนเตรตก่อนเข้า (nitrate in) และหลังจากออกจากระบบบำบัดไนเตรต (nitrate out) ที่มีการเติมเมธานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้าที่ส่วนต้นของระบบบำบัด จุดที่ถูกสรุขึ้นแสดงการพบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ทำให้ต้องหยุดเติมเมธานอล

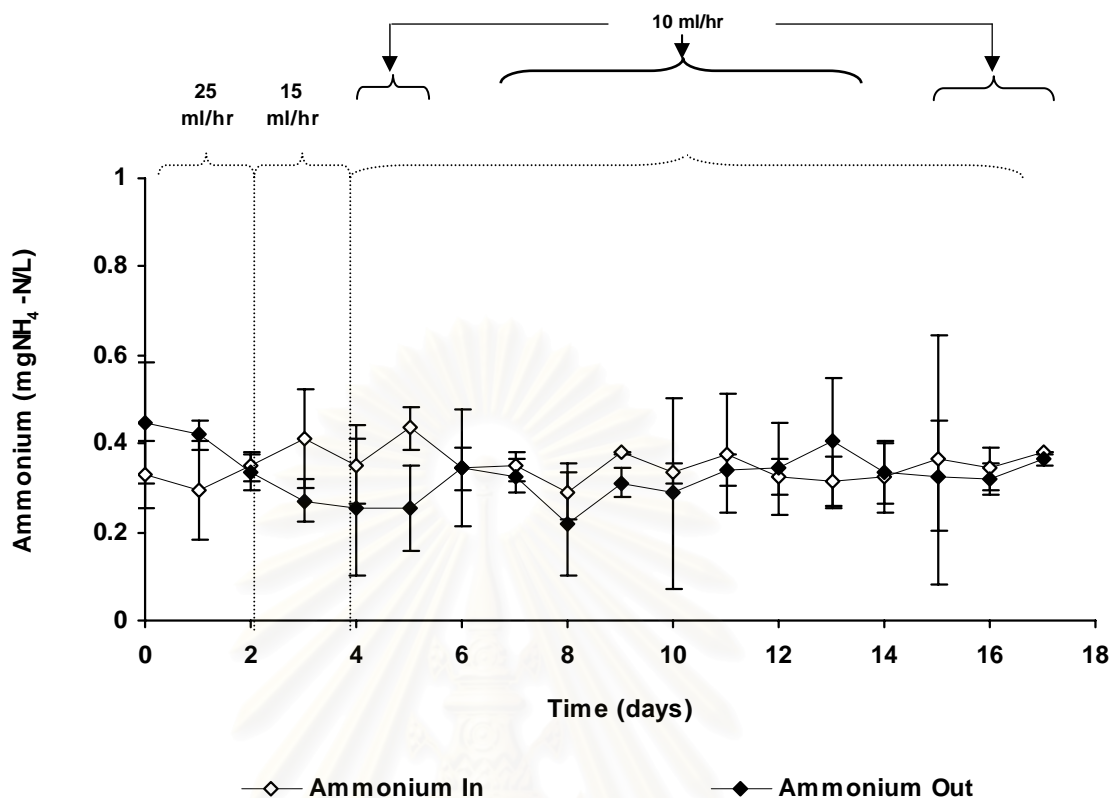


ภาพที่ 4-10 ประสิทธิภาพของการบำบัดไนเตรด ด้วยระบบบำบัดแบบพวยาวที่มีการเติมเมทานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้าที่ส่วนต้นของระบบบำบัด จุดที่ถูกครีเซ่แสดงการพบการเกิดแก๊ส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ทำให้ต้องหยุดเติมเมทานอล





ภาพที่ 4-11 ปริมาณไนไตรต์ก่อนเข้า (nitrite in) และหลังจากออกจากระบบบำบัดไนเตรด (nitrite out) ที่มีการเติมเมทานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้าที่ส่วนต้นของระบบบำบัด จุดที่ถูกศรชี้แสดงการพบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ทำให้ต้องหยุดเติมเมทานอล

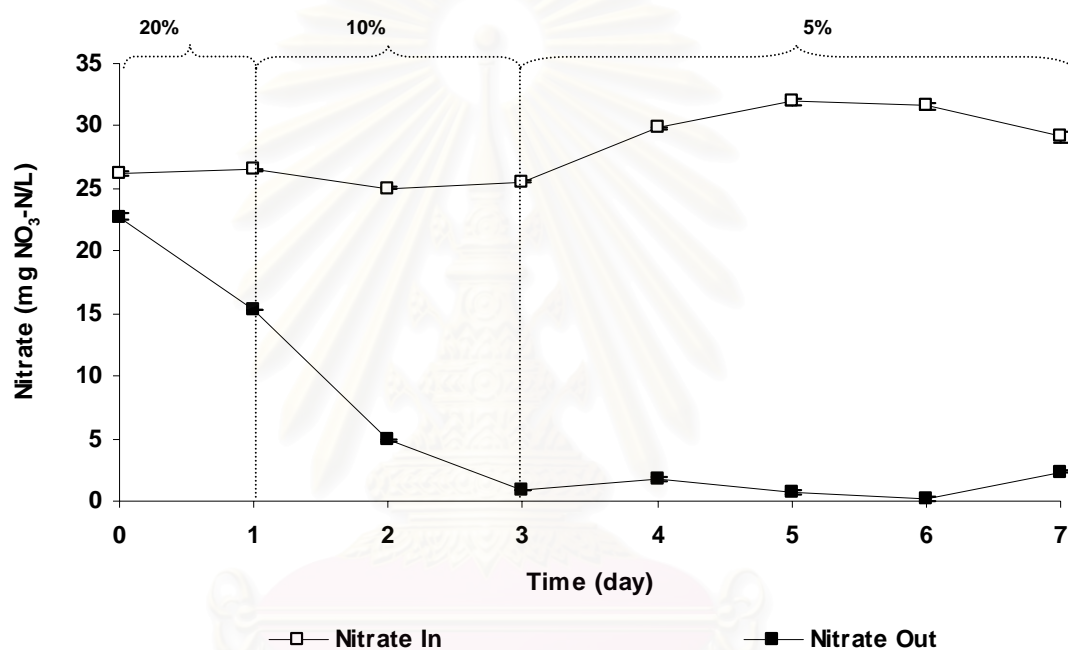


ภาพที่ 4-12 ปริมาณแอมโมเนียมก่อนการบำบัดด้วยระบบบำบัดไนเตรต (ammonium in) และ ปริมาณแอมโมเนียมหลังการบำบัด (ammonium out) โดยมีการเติมเมทานอล (MeOH) ความเข้มข้น 20% ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 25, 15 และ 10 ml/hr เข้า ที่ส่วนต้นของระบบบำบัด

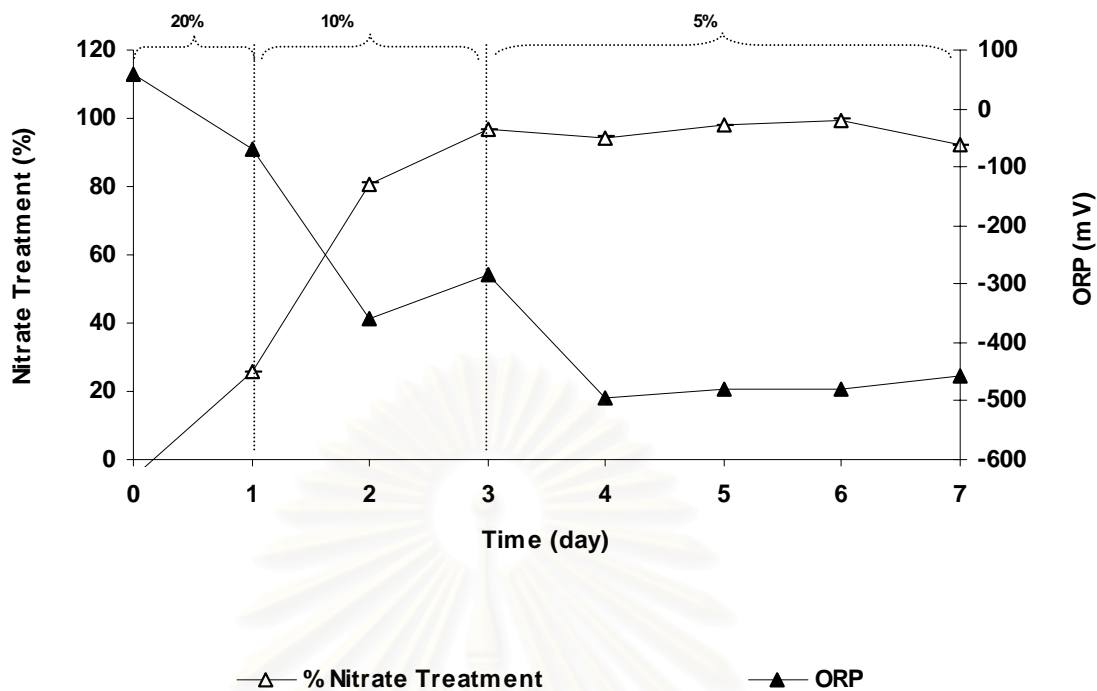
#### 4.1.2 ผลของความเข้มข้นของเมทานอล

เนื่องจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.1 พบปัญหาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขึ้นภายในระบบบำบัดไนเตรต เนื่องจากเมทานอลที่เติมเข้าระบบมีปริมาณมากเกินไป แต่จาก ข้อจำกัดของการปรับอัตราการเติมเมทานอลด้วยเครื่องสูบน้ำแบบรีดสายซึ่งไม่สามารถลดอัตราการ เติมให้ต่ำกว่า 10 ml/hr ได้อีก ดังนั้นจึงได้ทดลองทำการลดความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้เติมเข้าสู่ ระบบบำบัดลงจากเดิมที่ใช้ความเข้มข้น 20% ลดลงเหลือ 10% และ 5% ตามลำดับ ผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4-14 แสดงให้เห็นว่าการปรับลดความเข้มข้นของเมทานอลลงไม่ได้มีผลต่อ ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรต จากภาพที่ 4-14 จะพบแนวโน้มการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด อย่างต่อเนื่องแม้ว่าความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้จะลดลง อย่างไรก็ตามผลการตรวจวัดค่า ORP ในภาพที่ 4-14 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าค่า ORP จะลดลงต่ำกว่า -400 mV เมื่อประสิทธิภาพการ บำบัดไนเตรตเข้าใกล้ 100% (ไม่มีไนเตรตหลงเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านออกจากระบบบำบัด) ซึ่งค่า

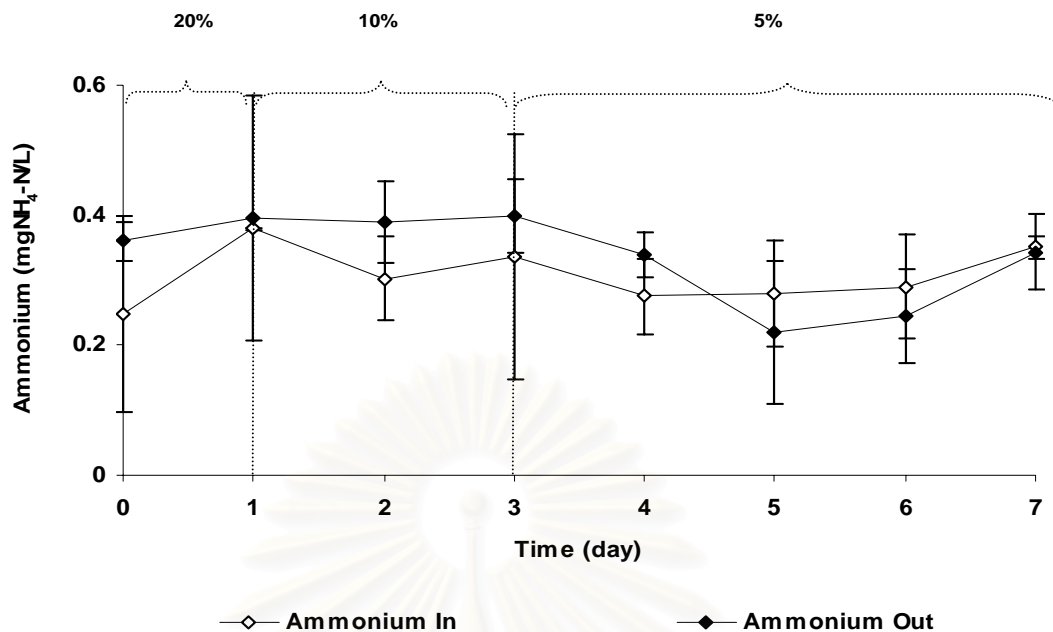
ORP ดังกล่าวสามารถนำมาใช้บ่งชี้ถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดสภาพการลดซัลเฟตทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นได้ และหลังจากที่ค่า ORP มีค่าต่ำกว่า -400 mV ตั้งแต่วันที่ 4 ของการทดลองพบว่าในวันที่ 7 เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นทำให้ต้องหยุดการเติมเมธานอล และในระหว่างการทดลองพบว่าแอมโมเนียในระบบมีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.5 mg-N/L ตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 4-15) และพบการเกิดไนไตรต์ขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง แต่หลังจากนั้นก็พบว่าไนไตรต์ลดลงต่ำกว่า 0.2 mg-N/L ตลอดระยะเวลาการทดลองที่เหลือ (ภาพที่ 4-16)



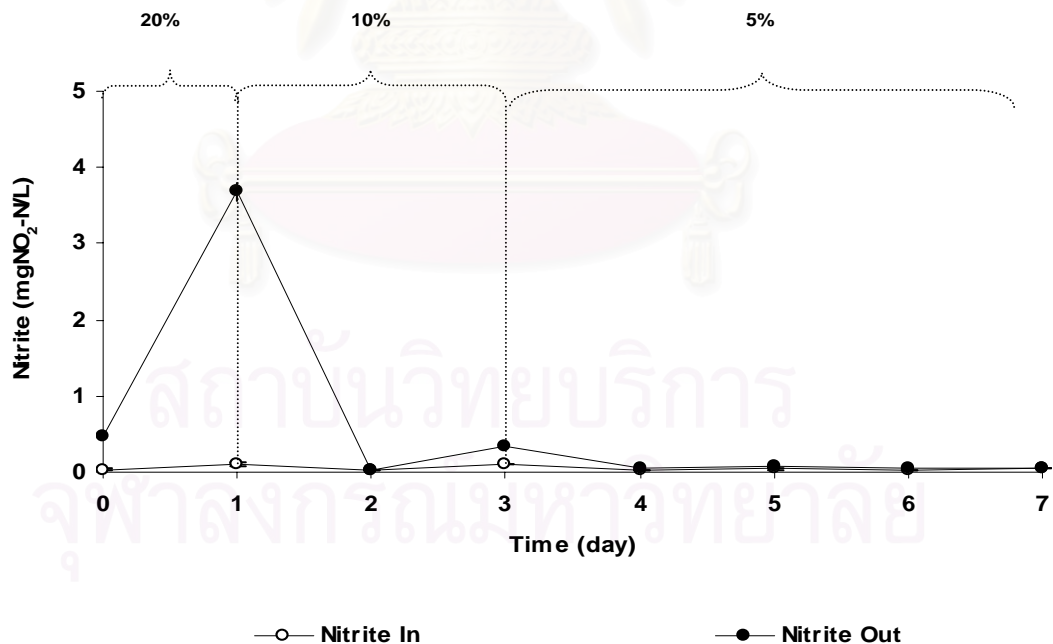
ภาพที่ 4-13 ปริมาณไนเตรตก่อนเข้า (nitrate in) และหลังจากออกจากระบบบำบัดไนเตรต (nitrate out) ที่มีการเติมเมธานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr



ภาพที่ 4-14 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในระหว่างการทดลองระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวที่มีการเติมเมธานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr



ภาพที่ 4-15 ปริมาณแอมโมเนียมก่อนเข้า (ammonium in) และหลังจากออกจากระบบบำบัดไนเตรต (ammonium out) ที่มีการเติมเมธานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr



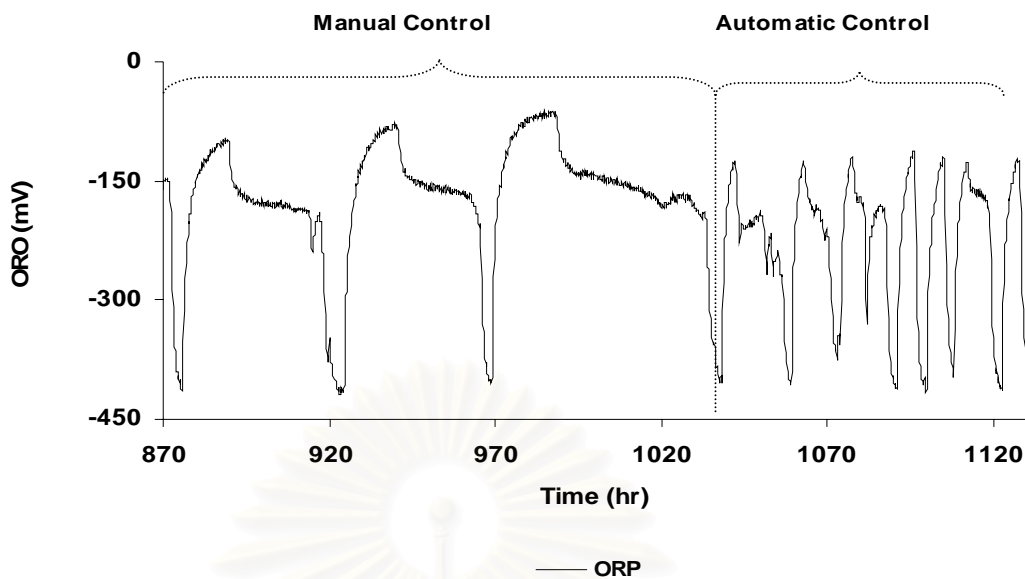
ภาพที่ 4-16 ปริมาณไนไตรต์ก่อนเข้า (nitrite in) และหลังจากออกจากระบบบำบัดไนเตรต (nitrite out) ที่มีการเติมเมธานอลความเข้มข้น 20%, 10% และ 5% เข้าสู่ส่วนต้นของระบบบำบัด ด้วยอัตราเร็ว 10 ml/hr

#### 4.1.3 การควบคุมการเติมเมธานอลโดยใช้ค่า ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เป็นตัวกำหนด เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมด้วยมือ กับการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ

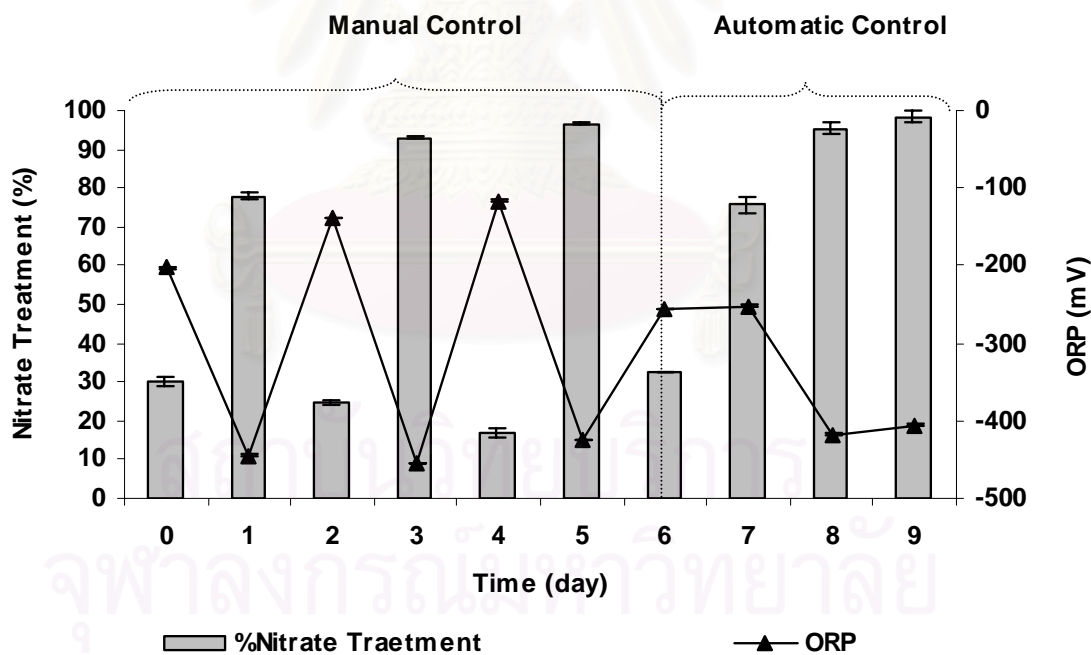
จากผลการศึกษาของสุวิมล ต้นทศกิจจวนิช (2545) พบว่าค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในช่วง -200 mV ถึง -400 mV จะทำให้เกิดระบบวนการดีไนตริฟิเคชันในระบบ ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนเตรตได้ และผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 พบว่าหากมีการเติมเมธานอลอย่างต่อเนื่องจะทำให้ระบบสามารถบำบัดไนเตรตจนหมด ผลที่ตามมาคือการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ทำการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในท่อยาว โดยนำช่วงค่า ORP ที่ตรวจวัดในส่วนท้ายของท่อยาวมาเป็นตัวกำหนดการเริ่มและหยุดการเติมเมธานอลโดยใช้ความเข้มข้นของเมธานอล 5% และอัตราการเติมเมธานอล 10 ml/hr

ผลการศึกษาที่แสดงในภาพที่ 4-17 เป็นการเปลี่ยนแปลงของค่า ORP ที่ตรวจวัดบริเวณส่วนปลายทางออกของน้ำจากระบบบำบัดและเก็บข้อมูลด้วยระบบบันทึกอัตโนมัติทุก 10 นาที โดยในช่วงแรกเป็นการเริ่มและหยุดการเติมเมธานอลด้วยมือ (manual control) ซึ่งได้ทดลองการหยุดการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP ลดต่ำลงถึง -400 mV หลังจากนั้นค่า ORP จะมีการปรับตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงระดับ -200 mV จึงเริ่มทำการเติมเมธานอลอีกครั้งหนึ่ง และในช่วงหลังเป็นการควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติโดยปรับตั้งโปรแกรมการควบคุมให้มีการเติมเมธานอลเฉพาะในช่วง ORP ระหว่าง -200 ถึง -400 mV เช่นเดียวกับการควบคุมด้วยมือ จะเห็นได้ว่าการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยให้รูปแบบของ ORP มีความคงที่และไม่ต้องอาศัยแรงงานคนในการคอยตรวจสอบค่า ORP เพื่อเริ่มและหยุดการเติมเมธานอล

สำหรับผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตในช่วงระหว่างการทดลองควบคุมการเติมเมธานอลด้วยมือและการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เนื่องจากได้ทำการวัดปริมาณไนเตรตขาเข้าและขาออก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ โดยวัด 2 จุด คือ จุดที่เริ่มมีการเติมเมธานอล และจุดที่หยุดการเติมเมธานอลในส่วนของ การควบคุมด้วยมือ และ สุ่มเก็บตัวอย่างวันละ 1 ครั้งในส่วนของ การควบคุมอัตโนมัติ ในภาพที่ 4-17 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีความสัมพันธ์กับค่า ORP โดยเมื่อ ORP มีค่า -200 mV ประสิทธิภาพการบำบัดจะต่ำกว่า 40% แต่เมื่อค่า ORP ลดต่ำลงเข้าใกล้ -400mV ประสิทธิภาพการบำบัดจะสูงเกือบ 100% (ภาพที่ 4-18)



ภาพที่ 4-17 ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน(ORP) ที่บันทึกด้วย Data logger DL 2000 (Wisco, Thailand) ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรต ระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลให้กับระบบด้วยมือ กับระบบอัตโนมัติ

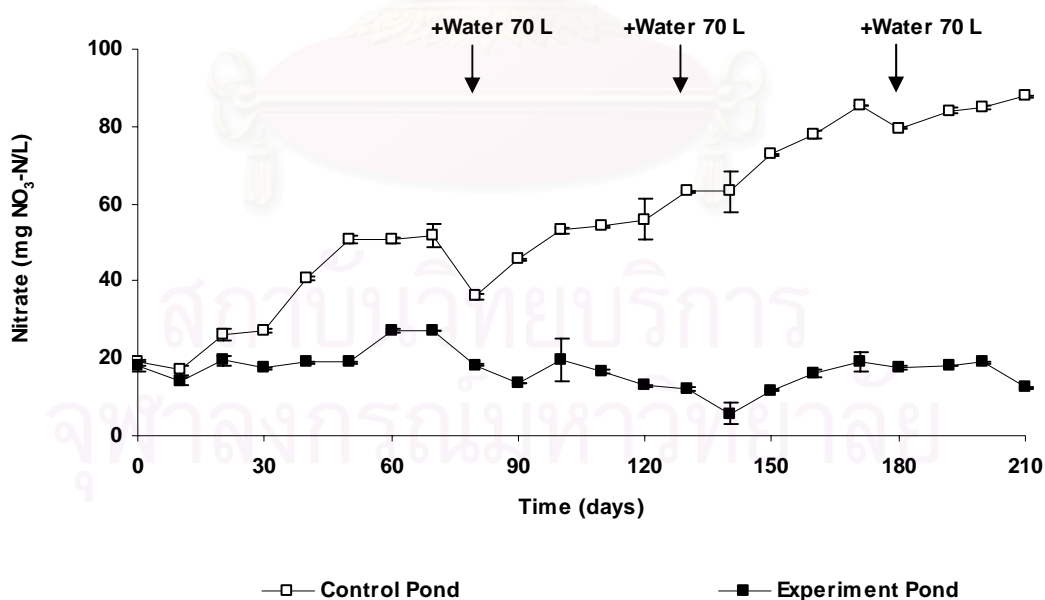


ภาพที่ 4-18 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรต และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลให้กับระบบด้วยมือ (manual control) กับระบบอัตโนมัติ (automatic control)

## 4.2 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวในการบำบัดไนเตรตในบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ

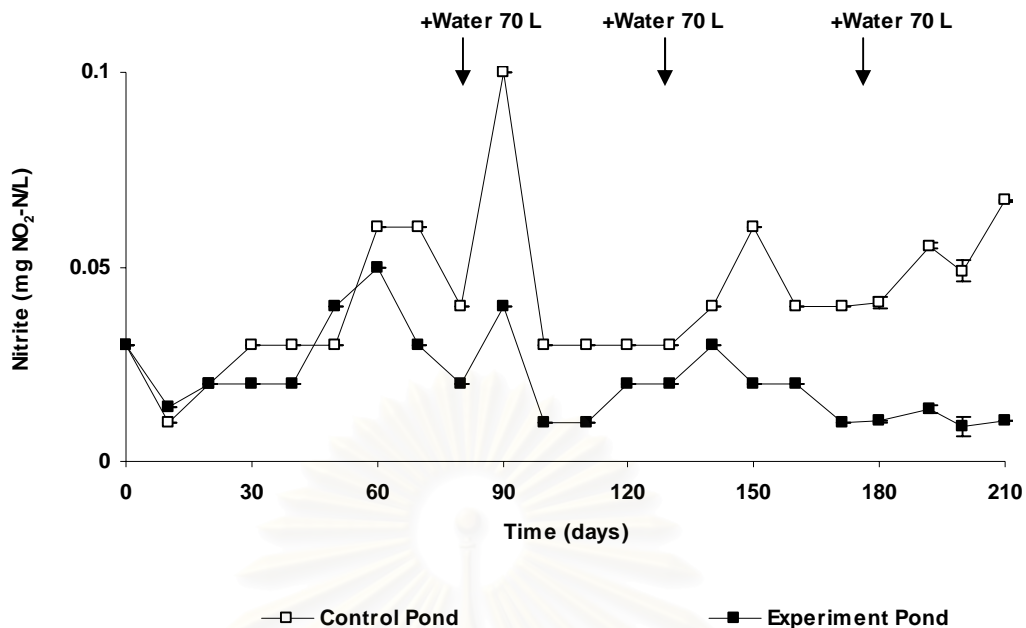
### 4.2.1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง

หลังจากการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวเข้ากับบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งระบบปิดขนาด 6,185 ลิตร ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกนอกระบบเลยตลอดระยะเวลาการทดลอง ยกเว้นการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยความเค็มที่เพิ่มขึ้นจากการระเหยของน้ำ ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมกับชุดทดลองที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตพบว่าน้ำในชุดทดลองจะมีปริมาณไนเตรตต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4-19) โดยในวันสุดท้ายของการทดลอง พบการสะสมของไนเตรตในชุดควบคุมโดยมีความเข้มข้นสูงถึง 87 mgNO<sub>3</sub>-N/L ในขณะที่บ่อชุดทดลองจะมีปริมาณไนเตรตต่ำกว่า 20 mgNO<sub>3</sub>-N/L ตลอดระยะเวลาการทดลอง 210 วัน ในขณะที่ไนไตรต์และแอมโมเนียมมีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.1 mg-N/L (ภาพที่ 4-20 และ 4-21) จากภาพที่ 4-21 ในวันที่ 170 ของการทดลอง แอมโมเนียมที่วัดได้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าวันอื่นเนื่องจากในช่วงนี้มีการให้ปลาหมึกมากกว่าช่วงอื่นๆ ประกอบกับหัวจ่ายอากาศที่ใช้ในการทดลองได้ถูกนำไปใช้ในการทดลองส่วนอื่นทำให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งลดลง แต่ไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายสำหรับกุ้ง ส่วนฟอสเฟตนั้นมีปริมาณอยู่ระหว่าง 6-10 mgP/L (ภาพที่ 4-22)

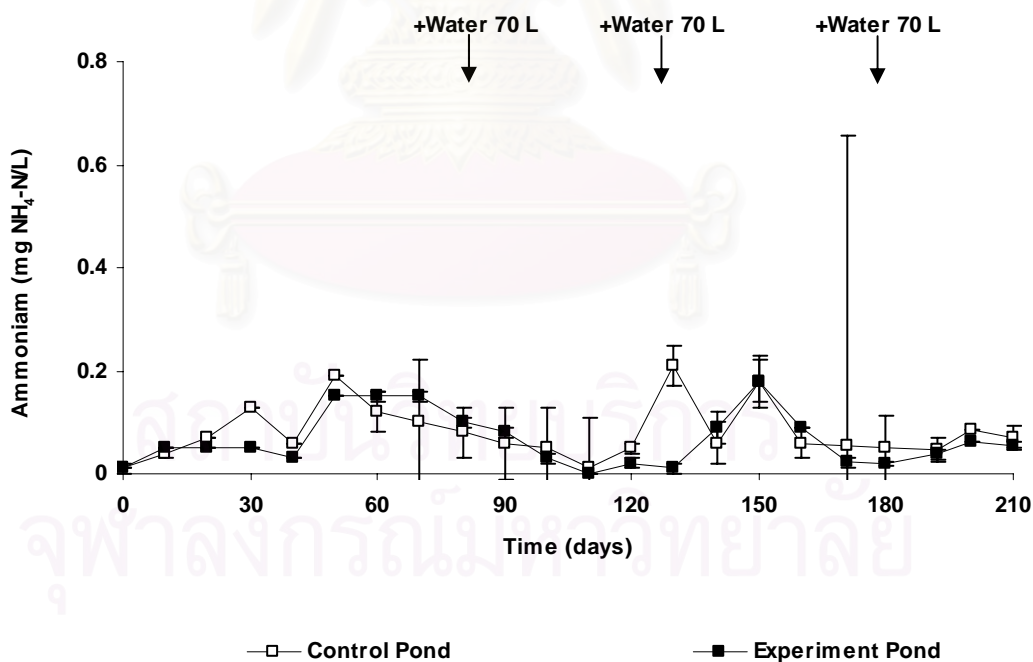


ภาพที่ 4-19 ปริมาณไนเตรตของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ

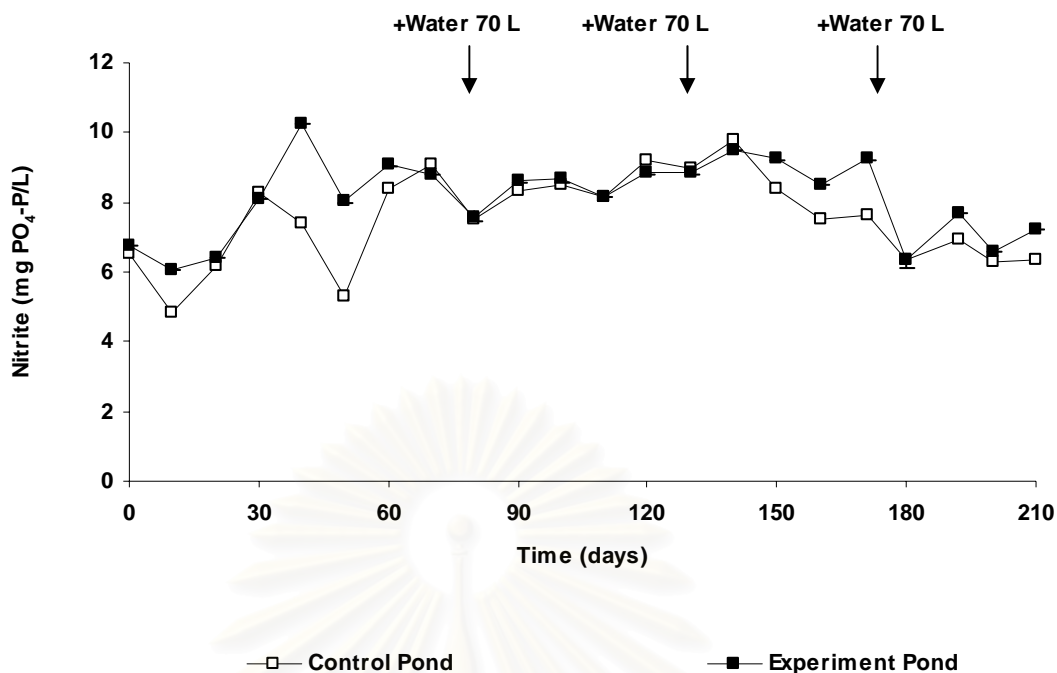




ภาพที่ 4-20 ปริมาณไนไตรต์ของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ



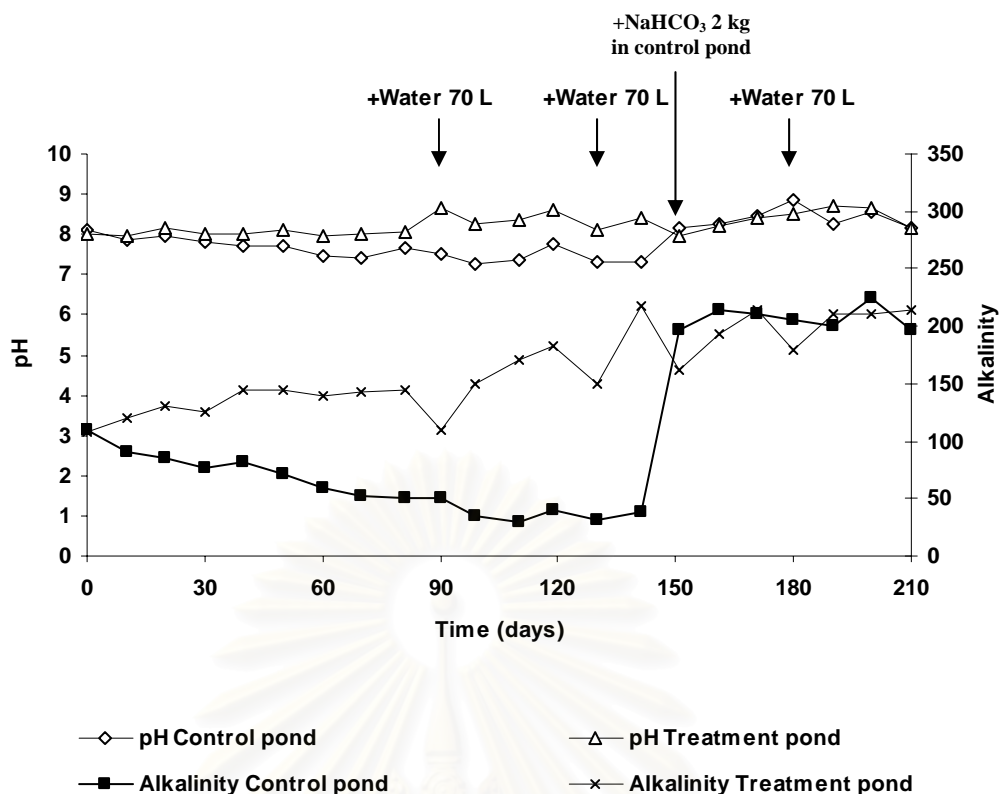
ภาพที่ 4-21 ปริมาณแอมโมเนียมของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ



ภาพที่ 4-22 ปริมาณฟอสเฟตของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) โดยมีระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำในบ่อ

ผลการวิเคราะห์ pH และ อัลคาลินิตี พบว่าน้ำในบ่อชุดควบคุมมีค่า pH ต่ำกว่าบ่อชุดทดลอง และพบการลดลงของอัลคาลินิตีอย่างต่อเนื่องในบ่อชุดควบคุม ดังนั้นเมื่อค่าอัลคาลินิตีในบ่อชุดควบคุมลดลงต่ำกว่า 50 mg/L ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อกุ้งที่เลี้ยง ในวันที่ 140 ของการทดลองจึงจำเป็นต้องทำการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในน้ำของบ่อชุดควบคุม ส่งผลให้ค่าอัลคาลินิตีของบ่อชุดควบคุมเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับบ่อชุดทดลอง (ภาพที่ 4-23) สำหรับผลสรุปของคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองแสดงในตารางที่ 4-5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-23 pH และ อัลคาลินิตี ของน้ำในบ่อชุดควบคุม (Control pond) และในบ่อชุดทดลอง (Treatment pond) ที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรต ตลอดระยะเวลาการทดลอง ประมาณ 7 เดือน โดยมีการเติม  $\text{NaHCO}_3$  ลงในบ่อชุดควบคุมเพื่อเพิ่มอัลคาลินิตี (ในวันที่ 140)

ตารางที่ 4-5 ผลสรุปคุณภาพน้ำเปรียบเทียบระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งชุดควบคุมและชุดทดลอง

คุณภาพน้ำ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด]	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
แอมโมเนียม (mgNH <sub>4</sub> -N/L)	0.08 $\pm$ 0.05 [0.01-0.21]	0.07 $\pm$ 0.05 [0-0.18]
ไนไตรต์ (mgNO <sub>2</sub> -N/L)	0.04 $\pm$ 0.20 [0.10 - 0.01]	0.02 $\pm$ 0.01 [0.01-0.05]
ไนเตรต (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	55.77 $\pm$ 22.20 [17.05-87.77]	16.98 $\pm$ 4.77 [5.72-27.16]
ฟอสเฟต (mgP/L)	7.54 $\pm$ 1.31 [4.58-9.81]	8.12 $\pm$ 1.15 [6.06-10.25]
ออกซิเจนละลายน้ำ(mg/L)	7.49 $\pm$ 0.90 [5.56-8.75]	7.53 $\pm$ 0.93 [5.89-8.77]
ค่ากรด-ด่าง (pH)	7.86 $\pm$ 0.45 [7.28-8.88]	8.24 $\pm$ 0.26 [7.95-8.70]
อุณหภูมิน้ำ (°C)	27.07 $\pm$ 1.18 [24.00-28.50]	26.93 $\pm$ 1.33 [24.00-28.6]
ความเค็ม(PSU)	26.77 $\pm$ 3.16 [25-36]	26.73 $\pm$ 3.18 [25-36]
อัลคาไลน์ตี (mgCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	106.68 $\pm$ 72.49 [30-225]	162.09 $\pm$ 35.89 [108-218]

นอกเหนือไปจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ ผลการตรวจปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ที่เป็นแบคทีเรียก่อโรคสำคัญในกุ้ง ในวันที่ 196 ของการทดลอง พบว่าน้ำในบ่อชุดควบคุมและบ่อชุดทดลองมีปริมาณ *Vibrio* เท่ากับ  $47.67 \pm 3.79$  CFU และ  $46.00 \pm 1.73$  CFU ตามลำดับ ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่ต่ำมาก และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของทั้งสองระบบพบว่า ชุดควบคุมมีปริมาณแบคทีเรีย  $90.00 \pm 12.53 \times 10^3$  CFU ส่วนชุดทดลองมี  $103 \pm 21.93 \times 10^3$  CFU

#### 4.2.2 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

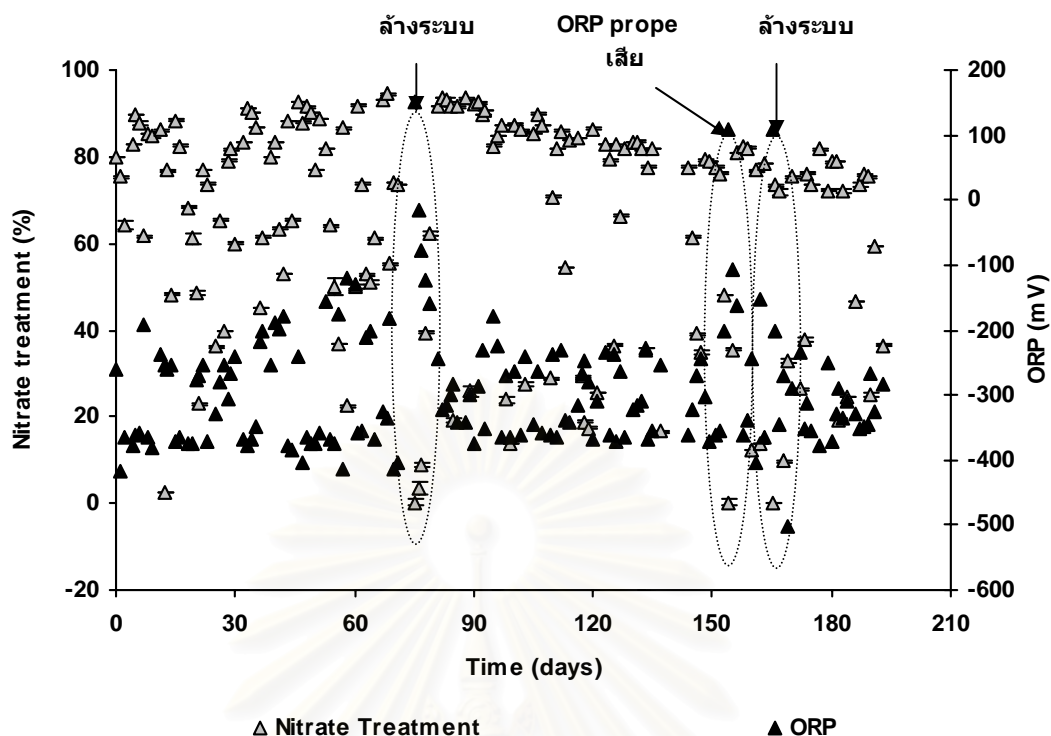
ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตซึ่งมีการเดินระบบอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน และในระหว่างการทดลองยังได้ทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดไนเตรตเพื่อช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัด ได้แก่ การคืนสภาพของระบบบำบัดหลังจากการล้างทำความสะอาดไบโอบอล (หัวข้อ 3.3.1) การทดลองปรับเปลี่ยนช่วงของ ORP ที่ใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอล (หัวข้อ 3.3.2) การทดลองควบคุมการเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบบำบัดโดยใช้นาฬิกาตั้งเวลา (หัวข้อ 3.3.3) และผลของการเพิ่มความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดไนเตรต (หัวข้อ 3.3.4)

#### 4.2.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดในเตรตตลอดระยะเวลา 7 เดือน

แม้ว่าในการบำบัดในเตรตของระบบท่อยาว จะมีอัตราการบำบัดที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับการเติมเมธานอลที่ถูกควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ โดยจะหยุดการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP ลดลงถึง  $-400$  mV และเมื่อค่า ORP เพิ่มขึ้นถึง  $-200$  mV ก็จะเริ่มการเติมเมธานอลอีกครั้งหนึ่ง ทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดในเตรตมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา การสุ่มตรวจประสิทธิภาพการบำบัดสัปดาห์ละ 6 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการทดลองประมาณ 7 เดือน (ภาพที่ 4-24) แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการบำบัดในเตรตส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 80-90% ตลอดระยะเวลาการทดลอง ยกเว้นในช่วงที่เกิดปัญหาขึ้นกับระบบ เช่นเกิดการอุดตันภายในท่อเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีแบคทีเรียจำนวนมากเติบโตอยู่ที่ผิวของไบโอบอล ทำให้อัตราการไหลของน้ำในท่อยาวลดลง ในวันที่ 80 จึงต้องหยุดระบบบำบัดเพื่อล้างทำความสะอาดเป็นเวลา 3 วัน หลังจากที่ประกอบระบบกลับคืนและเริ่มมีการเติมเมธานอล พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดกลับคืนเข้าสู่ภาวะปกติได้อย่างรวดเร็ว โดยหลังจากเริ่มเดินระบบบำบัด ค่า ORP ที่ตรวจวัดบริเวณส่วนทางน้ำออกจากระบบบำบัดจะกลับมีค่าลดลงอยู่ในระดับปกติ (ระหว่าง  $-200$  ถึง  $-400$  mV) ได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาประมาณ 1 วัน

ในวันที่ 157 เกิดปัญหาที่ระบบบันทึกข้อมูลอัตโนมัติและหัวตรวจวัดค่า ORP ทำให้ไม่สามารถควบคุมการเติมเมธานอลแบบอัตโนมัติได้ จึงต้องหยุดการเดินระบบบำบัดเป็นเวลาประมาณ 1 วัน หลังจากนั้นจึงได้แก้ปัญหาโดยนำเครื่องตั้งเวลามาควบคุมการเติมเมธานอลแทนระบบอัตโนมัติเป็นเวลาประมาณ 10 วัน หลังจากที่ได้เปลี่ยนหัวตรวจวัด ORP และเครื่องบันทึกข้อมูลใหม่แล้ว จึงกลับมาใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติเช่นเดิมในวันที่ 180 นอกจากนี้ได้ทำความสะอาดระบบบำบัดแบบท่อยาวในวันที่ 190 ทำให้ต้องหยุดการบำบัดชั่วคราว แต่เมื่อประกอบระบบบำบัดกลับคืนและเริ่มเติมเมธานอล ประสิทธิภาพการบำบัดในเตรตก็กลับเข้าสู่ภาวะปกติได้อย่างรวดเร็ว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



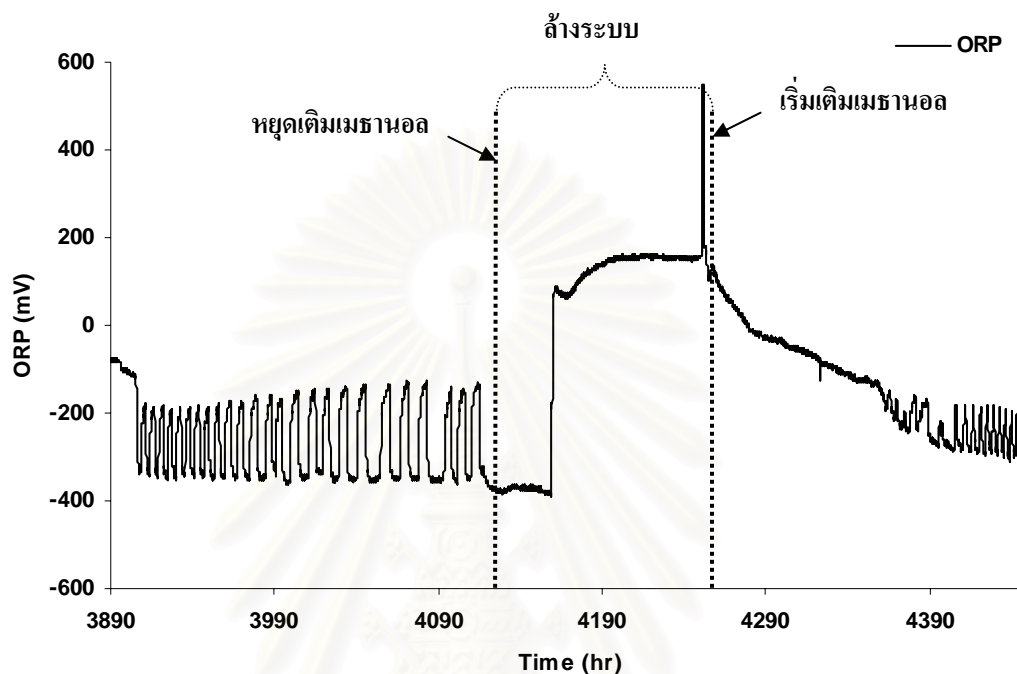
ภาพที่ 4-24 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตตลอดระยะเวลา 7 เดือน

#### 4.2.2.2 การคืนสภาพของประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตหลังจากการล้างทำความสะอาดไบโอบอลในระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

เนื่องจากการเดินระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวเป็นระยะเวลานาน (ในการทดลองได้เดินระบบต่อเนื่องมาตั้งแต่การทดลองในหัวข้อ 4.1 เป็นเวลา 6 เดือนก่อนที่จะเริ่มการทดลองเลี้ยงกุ้งในหัวข้อ 4.2) จะทำให้เกิดเซลล์ของแบคทีเรียจำนวนมากตามช่องว่างภายในไบโอบอลที่บรรจุอยู่ภายในท่อ ทำให้ระบบเกิดการอุดตันและน้ำไหลผ่านไม่สะดวกในวันที่ 72 ของการทดลอง จึงได้หยุดระบบบำบัดเพื่อการล้างทำความสะอาดไบโอบอลที่บรรจุอยู่ภายในท่อ โดยการนำไบโอบอลออกมาล้างด้วยน้ำประปาและบรรจุกลับคืนในท่อ และประกอบระบบบำบัดให้กลับคืนสภาพเดิม แล้วจึงเริ่มทำการเติมเมธานอล ซึ่งการล้างช่วยทำให้การไหลของน้ำภายในระบบมีความคล่องตัวขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาที่เก็บน้ำของท่อยาวลดลงจากเดิมอยู่ในช่วง 2-4 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 1-3 ชั่วโมง

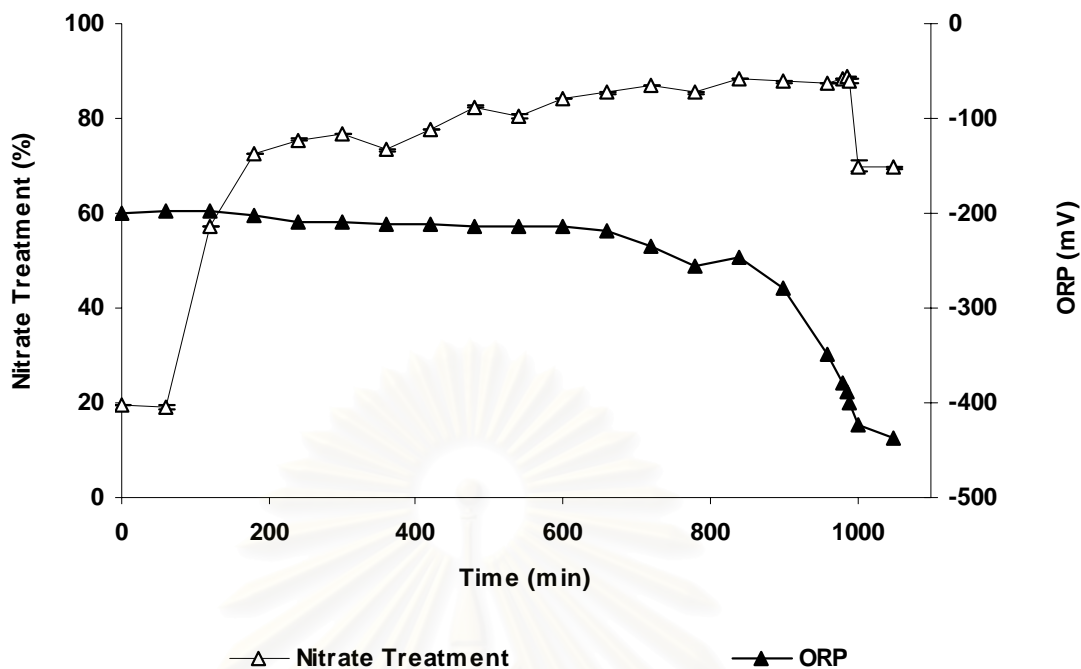
จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถใช้ผลการตรวจวัด ORP ที่บริเวณส่วนปลายท่อน้ำออกจากระบบบำบัด มาเป็นสิ่งบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ โดยหากภายในระบบบำบัดมีการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันก็จะทำให้ค่า ORP อยู่ระหว่าง -200 ถึง -350 mV ในขณะที่ค่า ORP ต่ำกว่า -400 mV จะเป็นค่าที่ต้องหลีกเลี่ยง และในทางกลับกัน ถ้าค่า ORP สูงขึ้นจนมีค่าเป็นบวก (>0 mV) แสดงว่าไม่มีการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้น ผลการ

ทดลองในภาพที่ 4-25 เป็นการเปรียบเทียบค่า ORP ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองช่วงก่อนและหลังจากการล้างทำความสะอาดระบบ จะเห็นได้ว่าหลังจากเริ่มมีการเติมเมธานอล ระบบสามารถปรับคืนสภาพได้อย่างรวดเร็ว ทำให้วงจรการทำงานของการเติมเมธานอลที่ควบคุมโดยระบบอัตโนมัติเกิดขึ้นอย่างคงที่

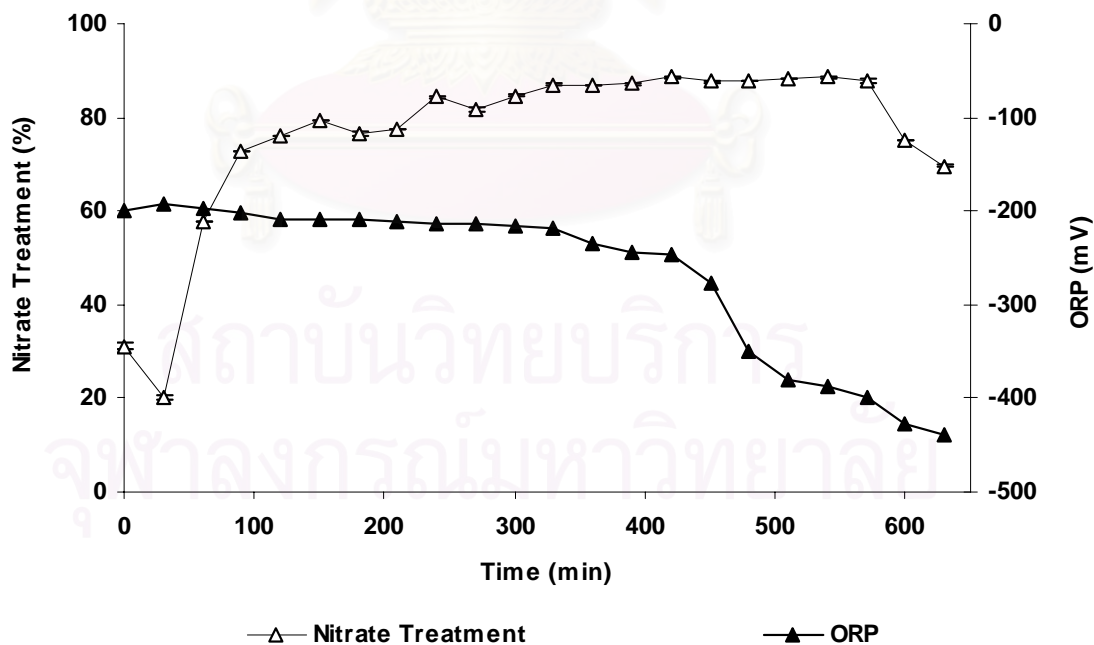


ภาพที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลงค่า ORP ที่ตรวจวัดในส่วนท้ายของระบบบำบัดในเตรตแบบท่อยาว เวลา ก่อนและหลังจากการล้างทำความสะอาดระบบบำบัด

เมื่อทำการตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดที่เกิดขึ้นในวงรอบของการเติมเมธานอลตั้งแต่เมื่อค่า ORP อยู่ที่ -200 mV จนค่า ORP ลดลงจนถึงค่าจุดต่ำสุดที่ตั้งโปรแกรมไว้คือ -400 mV พบว่าก่อนการล้างทำความสะอาดระบบ ประสิทธิภาพของการบำบัดในเตรตที่อยู่ระหว่าง 75-85% คิดเป็นประมาณ 80% ของเวลาในแต่ละรอบการเติมเมธานอล (ภาพที่ 4-26) ในขณะที่ประสิทธิภาพของการบำบัดหลังจากการล้างระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 75-85% เช่นเดียวกัน แต่จะมีระยะเวลาวงรอบของการเติมเมธานอลสั้นกว่าประมาณ 40% (ลดลงจาก 1050 นาที เหลือ 630 นาที)



ภาพที่ 4-26 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตกับค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรต ก่อนการล้างทำความสะอาดระบบ โดยมีระยะเวลาพักเก็บน้ำอยู่ระหว่าง 2-4 ชั่วโมง

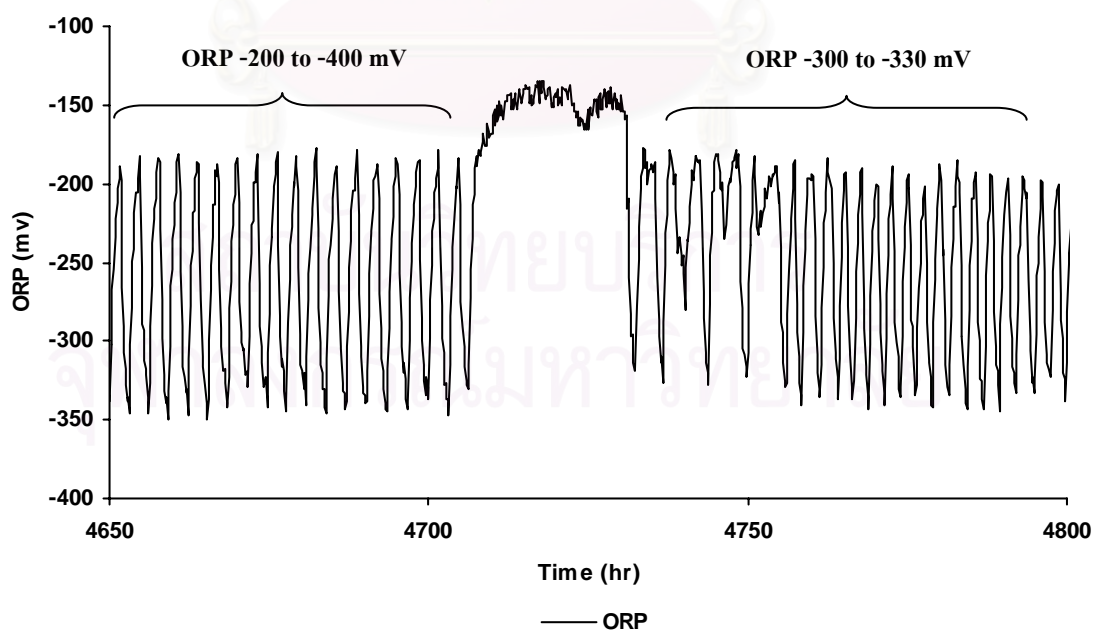


ภาพที่ 4-27 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตกับค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรต หลังจากการล้างทำความสะอาดระบบ โดยมีระยะเวลาพักเก็บน้ำอยู่ระหว่าง 1-3 ชั่วโมง

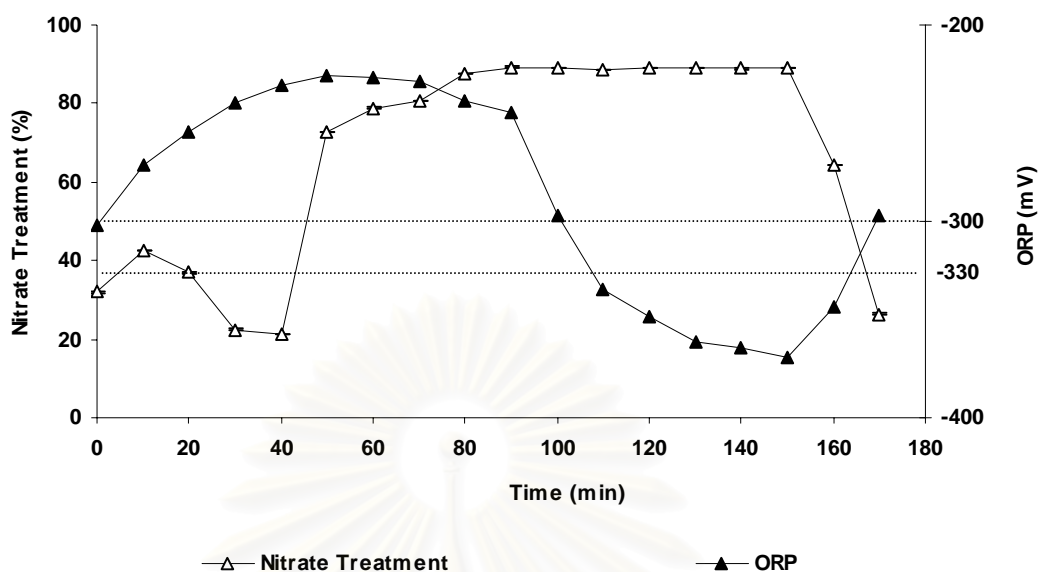


#### 4.2.2.3 ผลของการปรับตั้งช่วงของ ORP ที่ใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากการศึกษาที่ผ่านมาในหัวข้อ 4.2.2.2 ได้กำหนดช่วงค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) สำหรับควบคุมการเติมเมธานอลให้อยู่ในช่วง -200 mV ถึง -400 mV ซึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง โดยจะใช้ระยะเวลาที่ค่า ORP ลดลงจาก -200 เป็น -400 mV ประมาณ 10 ชั่วโมง (ภาพที่ 4-27) แต่พบว่าในช่วงที่ ORP ต่ำกว่า -350 mV จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในระบบ จึงได้ทดลองปรับลดช่วงของ ORP ที่ใช้ควบคุมการเติมเมธานอลให้อยู่ระหว่าง -300 mV ถึง -330 mV โดยการนับเวลาจะเริ่มต้นนับจากเมื่อค่า ORP เท่ากับ -300 mV ซึ่งเครื่องควบคุมจะสั่งการให้เครื่องสูบน้ำแบบรีดสายทำการเติมเมธานอลเข้าสู่ส่วนต้นของท่อยาว ซึ่ง ณ เวลาดังกล่าวค่า ORP ยังคงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไปจนถึงค่า -220 mV จึงจะพบการลดลงของ ORP อย่างต่อเนื่องไปจนถึงระดับ -330 mV ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่า ORP ในโปรแกรมควบคุมส่งผลให้ระยะเวลาในแต่ละรอบของการเติมเมธานอลด้วยระบบอัตโนมัติเปลี่ยนแปลงลดลงเหลือเพียง 2.8 ชั่วโมง ดังภาพที่ 4-27 และมีช่วงที่ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่า 80% มีสัดส่วนประมาณ 53% ของเวลาในแต่ละรอบการบำบัด (ภาพที่ 4-29) นอกจากนี้ยังพบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 20 นาทีสุดท้ายในแต่ละรอบของการเติมเมธานอล เนื่องจากแม้ว่าระบบควบคุมจะหยุดการเติมเมธานอลแล้วเมื่อค่า ORP ลดลงถึง -330 mV ก็ยังพบว่าค่า ORP จะลดลงต่อไปอีกเล็กน้อยก่อนที่จะกลับสูงขึ้น ซึ่ง ณ เวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่พบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในส่วนท้ายของระบบท่อยาว



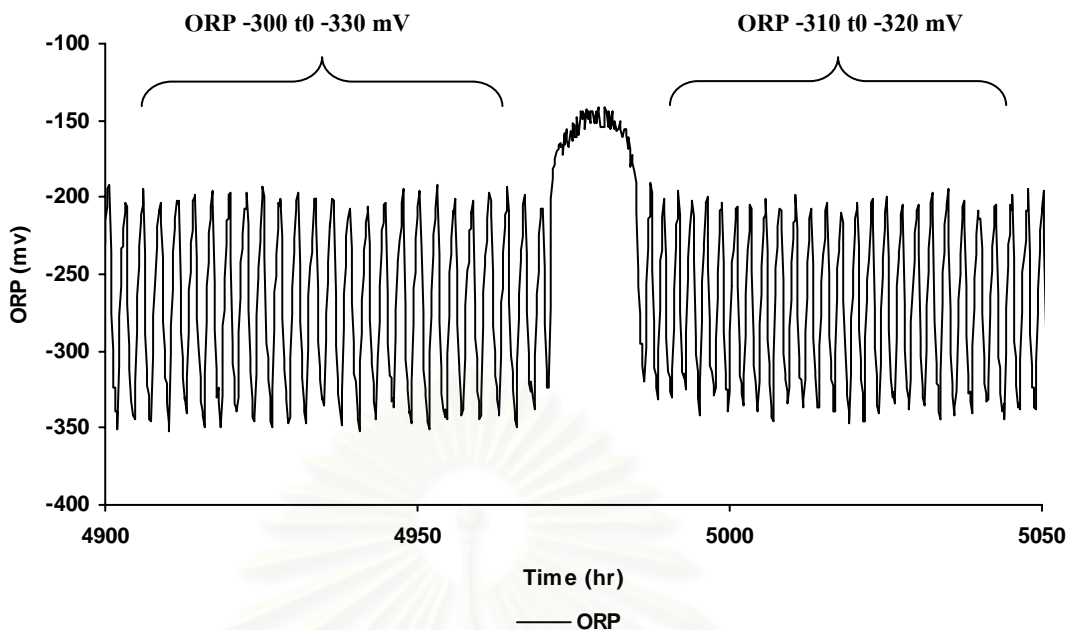
ภาพที่ 4-28 การเปลี่ยนแปลงของค่า ORP เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าของ ORP ที่ใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอลจากระหว่าง -200 mV ถึง -400 mV เป็น -300 mV ถึง -330 mV



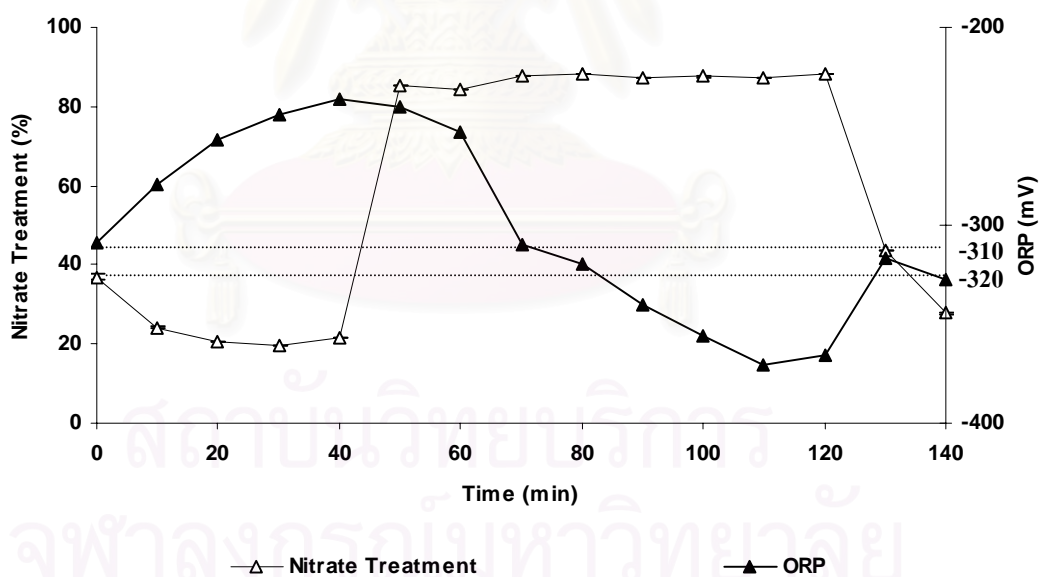
ภาพที่ 4-29 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรต และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรตที่มีการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP อยู่ระหว่าง -300 mV ถึง -330 mV โดยจุดเริ่มต้นในกราฟนับตั้งแต่เริ่มมีการเติมเมธานอล

การปรับลดช่วงของ ORP ลงเหลือระหว่าง -310 mV ถึง -320 mV ในภาพที่ 4-30 ทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดไนเตรตลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการตั้งค่าระหว่าง -300 ถึง -330 mV เนื่องจากระยะเวลาในแต่ละรอบของการเติมเมธานอลลดลงเหลือประมาณ 2.3 ชั่วโมง และช่วงที่ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่า 80% มีสัดส่วนประมาณ 50% ของเวลาในแต่ละรอบการบำบัด (ภาพที่ 4-31) แต่จะไม่พบการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นเลยตลอดวงจรของการเติมเมธานอล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



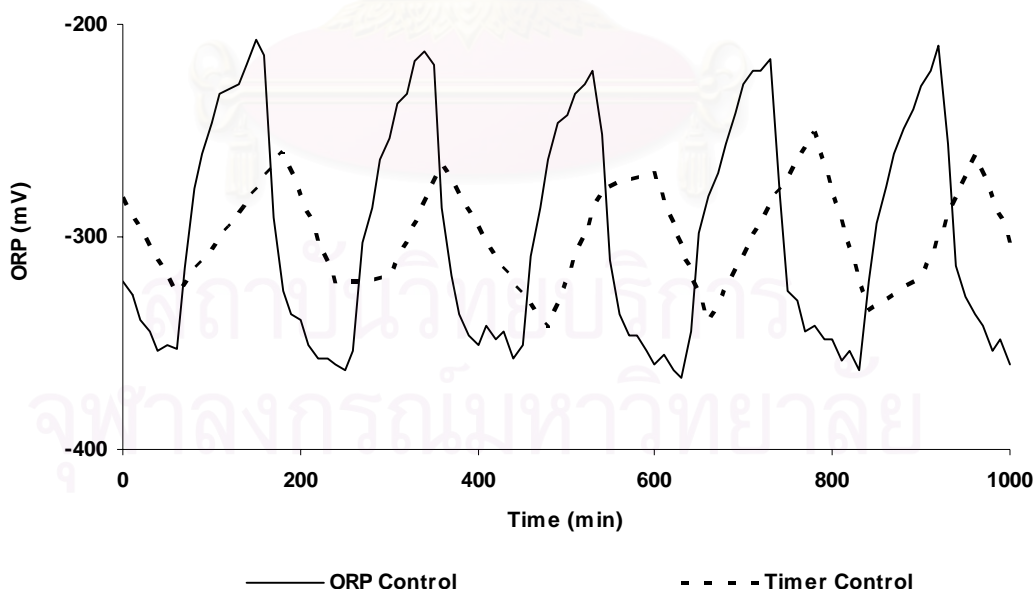
ภาพที่ 4-30 การเปลี่ยนแปลงของค่า ORP เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าของ ORP ที่ใช้ในการควบคุมการเติมเมธานอลจากระหว่าง -300 mV ถึง -330 mV เป็น -310 mV ถึง -320 mV



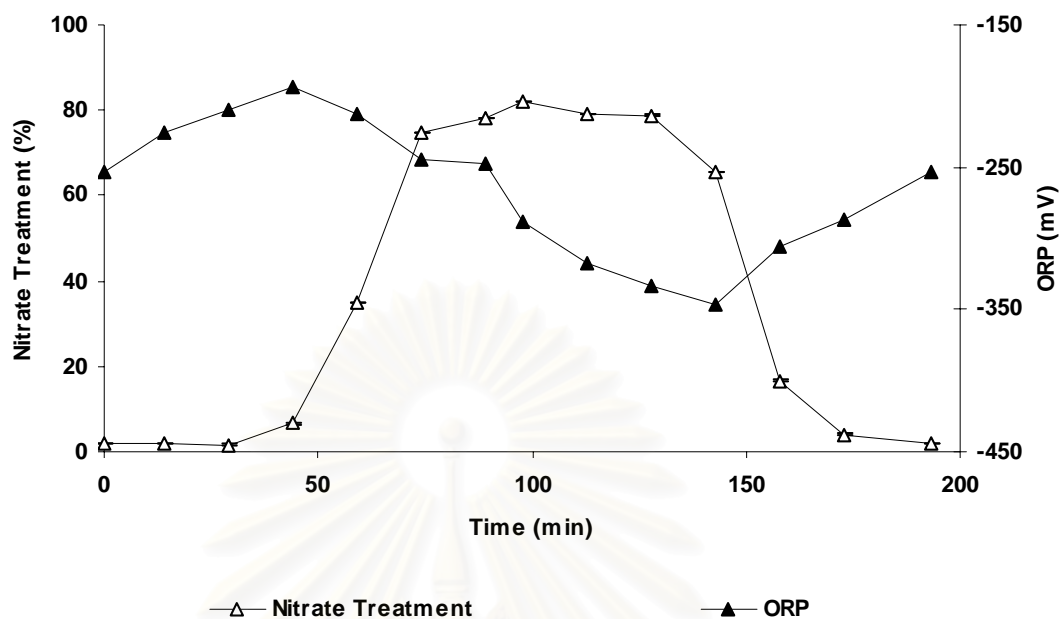
ภาพที่ 4-31 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรต และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนเตรตที่มีการเติมเมธานอลเมื่อค่า ORP อยู่ระหว่าง -310 mV ถึง -320 mV โดยจุดเริ่มต้นในกราฟนับตั้งแต่เริ่มมีการเติมเมธานอล

#### 4.2.2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเตรต ระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยระบบอัตโนมัติ กับการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยเครื่องตั้งเวลา

เนื่องจากในวันที่ 193 ของการทดลอง เกิดการรั่วของสายส่งเมธานอลที่อยู่ภายในกล่องควบคุมระบบบำบัด ทำให้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติเกิดความเสียหาย และเกิดปัญหาเกี่ยวกับหัวตรวจวัด ORP ซึ่งชำรุดเนื่องจากผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ทำให้จำเป็นต้องหยุดการเติมเมธานอลซึ่งก็ส่งผลให้ระบบบำบัดในเตรตหยุดทำงาน จากสาเหตุดังกล่าวจึงจำเป็นต้องทดลองเปลี่ยนวิธีการควบคุมการเติมเมธานอลมาเป็นการใช้นาฬิกาตั้งเวลา โดยปรับให้มีการเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 99 นาที และหยุดการเติมเมธานอลเป็นเวลา 99 นาทีสลับกันไป ผลการเปลี่ยนแปลงค่า ORP ก่อนและหลังจากการใช้เครื่องตั้งเวลาในภาพที่ 4-32 แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องตั้งเวลาสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในระบบบำบัดได้คล้ายกับการใช้เครื่องควบคุมอัตโนมัติ แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการบำบัดในเตรตที่ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ (ORP ระหว่าง -310 ถึง -320 mV) ในหัวข้อ 4.2.2.3 (ภาพที่ 4-33) จะมีช่วงที่มีการบำบัดสูงกว่า 80% คิดเป็น 50% ของช่วงวงรอบของการเติมเมธานอล ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดในเตรตสูงสุดที่ได้จากการใช้เครื่องตั้งเวลาอยู่ระหว่าง 60-80% เป็นเวลาประมาณ 50 นาที หรือคิดเป็นระยะเวลาเพียง 35% ของช่วงวงรอบของการเติมเมธานอลเท่านั้น



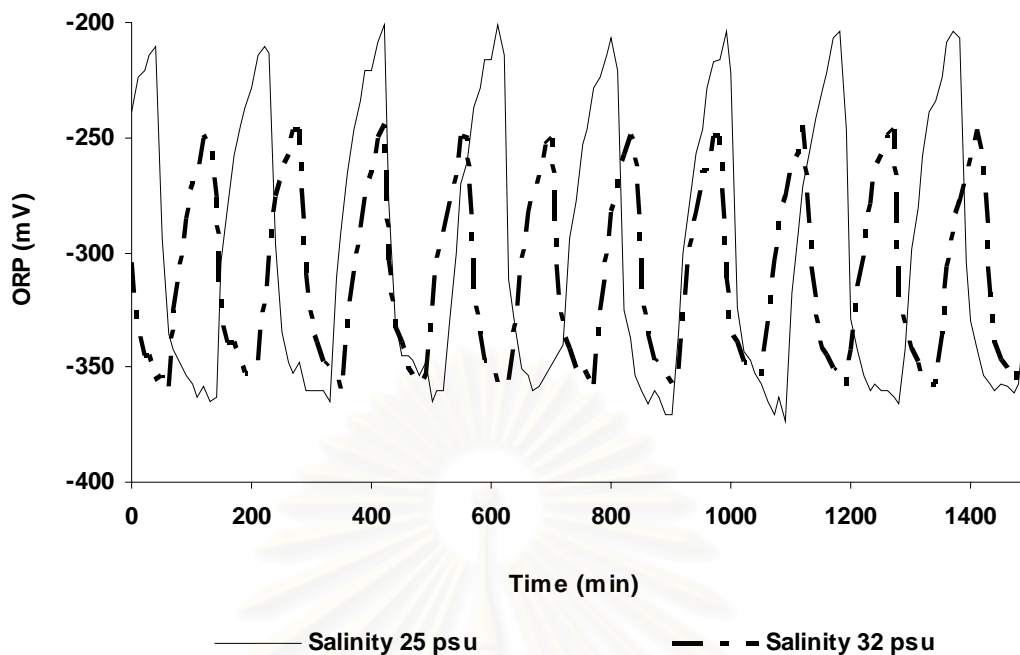
ภาพที่ 4-32 ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ในส่วนปลายทางน้ำออกจากระบบบำบัดในเตรต เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติ และการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยเครื่องตั้งเวลา



ภาพที่ 4-33 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรต และค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) โดยใช้ เครื่องตั้งเวลาเป็นตัวควบคุมการเติมเมธานอล

#### 4.2.2.5 ผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดไนเตรต

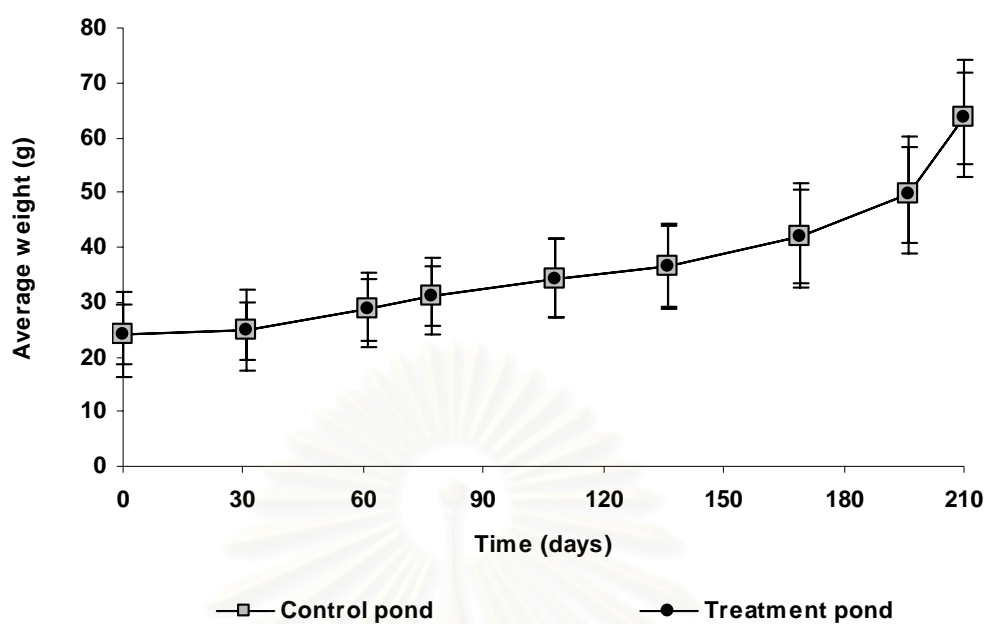
การบันทึกค่า ORP ของระบบบำบัดในระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งจาก 25 PSU ขึ้นเป็น 32 PSU ในขณะที่ค่าของ ORP ที่ใช้ควบคุมการเติมเมธานอลยังมีค่าคงเดิมอยู่ที่ระหว่าง -310 ถึง -320 mV พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเค็มจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ORP ในระบบบำบัดโดยการเพิ่มความเค็มของน้ำจะทำให้ระยะเวลาในแต่ละรอบของการบำบัดลดลง และการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของ ORP มีความแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 4-34



ภาพที่ 4-34 การเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของระบบบำบัดไนโตรที่ควบคุมการเติมเมธานอลโดยอัตโนมัติ เปรียบเทียบระหว่างการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีความเค็ม 25 PSU และความเค็ม 32 PSU

#### 4.2.3 การเจริญเติบโตและผลผลิตของกุ้งกุลาดำ

ตลอดการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลาประมาณ 7 เดือนพบว่ากุ้งกุลาดำมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง (มีระบบบำบัดไนเตรด) ที่ไม่ต่างกัน (ภาพที่ 4-35) แต่มีอัตราการรอดในเดือนสุดท้ายที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4-6 และ ตารางที่ 4-7) นอกจากนี้ยังพบว่ากุ้งมีอัตราการเติบโตต่อวันต่ำมากในเดือนแรก จากนั้นจึงพบว่าอัตราการเติบโตค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีอัตราการเติบโตสูงที่สุดในเดือนสุดท้ายของการทดลอง (ตารางที่ 4-8 และ ตารางที่ 4-9)



ภาพที่ 4-35 น้ำหนักเฉลี่ยของกิ้งกูดาคำของชุดควบคุม (Control pond) และชุดทดลอง (Treatment pond) ตลอดระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน

ตารางที่ 4-6 ตารางสรุปผลอัตราการรอดของกิ้งในชุดควบคุม

เวลา (วัน)	จำนวนกิ้งทั้งหมด	%อัตราการรอดของกิ้งทั้งหมด	จำนวนกิ้งเพศผู้	%การรอดกิ้งเพศผู้	จำนวนกิ้งเพศเมีย	%การรอดกิ้งเพศเมีย	ความหนาแน่น (ตัว/ตารางเมตร)
0	50	100	21	100	29	100	7
31	50	100	21	100	29	100	7
61	47	94	19	90	28	97	7
77	46	92	18	86	28	97	7
108	45	90	17	81	28	97	6
136	41	82	16	76	25	86	6
169	35	70	13	62	22	76	5
196	27	54	8	38	19	66	5
210	19	38	5	24	14	48	3

ตารางที่ 4-7 ตารางสรุปผลการรอดของกึ่งในชุดทดลอง (มีระบบบำบัดไนเตรต)

เวลา (วัน)	จำนวนกึ่งทั้งหมด	%อัตราการรอดของกึ่งทั้งหมด	จำนวนกึ่งเพศผู้ (ตัว)	%การรอดกึ่งเพศผู้	จำนวนกึ่งเพศเมีย (ตัว)	%การรอดกึ่งเพศเมีย	ความหนาแน่น (ตัว/ตารางเมตร)
0	50	100	27	129	23	79	7
31	49	98	27	129	22	76	7
61	47	94	25	119	22	76	7
77	45	90	25	119	20	69	6
108	41	82	22	105	19	66	6
136	41	82	2	10	19	66	6
169	35	70	20	95	15	52	5
196	32	64	17	81	15	52	5
210	27	54	15	71	12	41	4

ตารางที่ 4-8 อัตราการเจริญเติบโตของกึ่งกุลาดำในชุดควบคุม

เวลา (วัน)	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ย กรัม $\pm$ SD [พิสัย]	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)
0	1202.3	24.05 $\pm$ 5.30 [16.60-38.00]	-
31	1238.8	24.78 $\pm$ 5.26 [16.20-38.50]	0.02
61	1342.4	28.56 $\pm$ 5.50 [19.80-42.00]	0.07
77	1428.9	31.06 $\pm$ 5.41 [21.73-45.23]	0.09
108	1542.7	34.28 $\pm$ 7.18 [14.20-51.41]	0.09
136	1501.5	36.62 $\pm$ 7.79 [21.50-56.90]	0.09
169	1471.7	42.05 $\pm$ 9.59 [27.80-75.20]	0.11
196	1336.9	49.51 $\pm$ 10.61 [77.60-27.30]	0.13
210	1206.9	63.50 $\pm$ 8.17 [48.50-76.90]	0.19



ตารางที่ 4-9 อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในชุดทดลอง (มีระบบบำบัดในเตรค)

เวลา (วัน)	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ย กรัม $\pm$ SD [พิสัย]	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)
0	1232.7	24.65 $\pm$ 7.74 [12.40-44.20]	-
31	1193.8	24.36 $\pm$ 7.41 [22.70-41.50]	-0.01
61	1365.4	29.05 $\pm$ 6.71 [17.10-46.20]	0.07
77	1427.12	31.71 $\pm$ 6.9 [19.04-50.52]	0.09
108	1510.2	36.83 $\pm$ 7.10 [27.50-56.20]	0.11
136	1611.8	39.31 $\pm$ 7.39 [27.30-56.70]	0.11
169	1520.1	43.43 $\pm$ 8.52 [27.70-64.30]	0.11
196	1550.7	48.46 $\pm$ 8.90 [34.70-71.10]	0.12
210	1574.6	58.31 $\pm$ 10.86 [38.00-80.60]	0.16

#### 4.2.4 คุณของไนโตรเจนในระบบบ่อเลี้ยงกุ้ง

ผลของการเปรียบเทียบแหล่งและปริมาณของไนโตรเจนในระบบบ่อเลี้ยงกุ้ง ในเวลาเริ่มต้นการทดลองและในวันสุดท้ายของการทดลอง แสดงในตารางที่ 4-10 และ 4-11 พบว่าแหล่งของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงกุ้งมาจากอาหารเป็นส่วนใหญ่ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าไนโตรเจนเกือบทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงกุ้ง (93-98%) จะคงอยู่ในน้ำ โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ไนโตรเจนอินทรีย์+ไนโตรเจนอนินทรีย์) ที่พบในน้ำของบ่อชุดควบคุมมีปริมาณ 657 g-N สูงกว่าที่พบในน้ำของบ่อชุดทดลองที่มีการบำบัดในเตรคซึ่งมีปริมาณ 148 g-N และจากตารางที่ 4-12 พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดในชุดควบคุมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นคิดเป็น 73.16 % ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในชุดทดลองลดลง ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 59.33 % แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดในเตรคสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบบ่อเลี้ยงกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4-10 ปริมาณไนโตรเจนที่มีการนำเข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงกุ้งตลอดระยะเวลาการทดลอง

	ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงกุ้ง							
	ชุดควบคุม				ชุดทดลอง			
	ไนโตรเจน ในน้ำ (g-N)	กุ้ง (g-N)	อาหารเม็ด (g-N)	ปลาหมึก (g-N)	ไนโตรเจน ในน้ำ (g-N)	กุ้ง (g-N)	อาหารเม็ด (g-N)	ปลาหมึก (g-N)
น้ำหนัก	146.05	8.19	175.95	53.03	134.18	8.40	194.95	53.16
%	38.15	2.13	45.91	13.84	34.35	2.15	49.87	13.61

ตารางที่ 4-11 ปริมาณไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง ณ วันที่ 200 ของการทดลอง

	ปริมาณไนโตรเจนในวันสุดท้าย			
	ชุดควบคุม		ชุดทดลอง	
	ไนโตรเจนในน้ำ (g-N)	ไนโตรเจนในกุ้ง (g-N)	ไนโตรเจนในน้ำ (g-N)	ไนโตรเจนในกุ้ง (g-N)
น้ำหนัก	657.45	9.11	148.25	10.56
%	98.63	1.36	93.34	7.06

ตารางที่ 4-12 ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในชุดควบคุมและปริมาณไนโตรเจนที่ลดลงในชุดทดลอง

	ไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ (g-N)	ไนโตรเจนในวันสุดท้าย (g-N)	การเปลี่ยนแปลงของ ไนโตรเจน (g-N)
ชุดควบคุม	383.21	666.56	+283.35
ชุดทดลอง	390.60	158.84	-231.76

## บทที่ 5

### วิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สถานะที่เหมาะสมของการบำบัดในเตรตด้วยระบบบำบัดแบบท่อยาว

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้เป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องมาจากงานของสุวิมล ตันทศุกิจวิช (2545) ซึ่งได้ปรับตั้งระบบบำบัดแบบท่อยาวให้มีระยะเวลาพักน้ำ 4.2 hr อัตราการเติมเมธานอล 9.30 ml/hr และใช้เมธานอลความเข้มข้น 20% ผลจากการวิจัยนี้พบว่าเมื่อปรับระยะเวลาพักน้ำของระบบให้อยู่ระหว่าง 2.3-3.5 ชั่วโมง อัตราการเติมเมธานอลที่เหมาะสม คือ 10 ml/hr โดยใช้ความเข้มข้นของเมธานอล 5% จะทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบท่อยาวได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่มีการสะสมไนไตรต์และไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในทางปฏิบัติ หากไม่มีการควบคุมที่ดีพอ มักจะเกิดสภาพลดค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งการบำบัดในเตรตสำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องระวังไม่ให้เกิดปัญหานี้ขึ้นเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.3 แสดงถึงความสำเร็จในการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาช่วยในการปรับการเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งเมธานอลจะเป็นกลไกที่สำคัญในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในท่อยาว ซึ่งการปรับตั้งช่วงของค่า ORP ที่จะเป็นตัวกำหนดการเติมเมธานอลในช่วงแรกอาศัยข้อมูลที่ได้จากงานของสุวิมล ตันทศุกิจวิช (2545) ซึ่งพบว่าช่วงค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ระหว่าง -200 ถึง -400 mV ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบท่อยาวสามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ทำให้สามารถบำบัดในเตรตได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่เกิดการสะสมไนไตรต์ แต่เมื่อได้มีการทดลองปรับเปลี่ยนช่วงของ ORP ก็พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แต่หากปล่อยให้มีการบำบัดมากเกินไป (ประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่า 90%) ก็จะทำให้เกิดความเสียหายที่จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น

นอกจากการใช้เครื่องควบคุมการเติมเมธานอลที่ใช้ช่วงค่า ORP มาเป็นตัวสั่งการ การใช้เครื่องตั้งเวลาก็เป็นแนวทางที่สามารถใช้ได้ผล โดยผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.2.4 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำข้อมูลระยะเวลาว่างรอบของการเติมเมธานอลที่เกิดในระหว่างการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เปลี่ยนมาเป็นการควบคุมการเติมเมธานอลด้วยเครื่องตั้งเวลาแทน วิธีนี้แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแต่ก็ช่วยลดต้นทุนของการสร้างระบบบำบัดลงได้มากเนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีเครื่องตรวจวัดและเครื่องควบคุมที่ซับซ้อน

เมื่อทำการเดินระบบบำบัดในเตรตควบคู่ไปกับการเลี้ยงกุ้ง พบว่า ในเดือนที่ 4 ระบบบำบัดในเตรตเกิดการอุดตัน มีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบจึงต้องทำการรื้อไปบออลในท่อยาว

ออกมาล้าง และทำการติดตั้งระบบบำบัดในเตรตอีกครั้งหนึ่ง ผลการทดลองที่แสดงในหัวข้อ 4.2.2.2 ซึ่งให้เห็นว่าระบบสามารถปรับคืนสภาพความสามารถในการบำบัดเข้าสู่ภาวะปกติได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีการล้างแบคทีเรียที่ติดเป็นคราบหนาอยู่ตามไบโอบอลออกไปเกือบหมดก็ตาม สิ่งนี้นับเป็นข้อดีของระบบบำบัดในเตรตที่สามารถเริ่มต้นการบำบัดได้อย่างรวดเร็ว ต่างจากระบบบำบัดที่ใช้ปฏิกิริยาในตรีฟิเคชันซึ่งต้องการเวลาอย่างน้อย 14-20 วันก่อนที่ระบบจะเริ่มทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ระยะเวลาในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบบำบัดที่ใช้กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะใช้เวลานานกว่าแบคทีเรียในระบบบำบัดที่ใช้กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน)

## 5.2 การศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดในเตรตสำหรับบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ

### 5.2.1 คุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ

ตลอดระยะเวลาการทดลอง 7 เดือน พบว่าปริมาณแอมโมเนียมเฉลี่ยของชุดควบคุมเท่ากับ  $0.08 \pm 0.05$  mgNH<sub>4</sub>-N/L (ค่าสูงสุด 0.21 mgNH<sub>4</sub>-N/L) และปริมาณแอมโมเนียมเฉลี่ยของชุดทดลองเท่ากับ  $0.07 \pm 0.05$  mgNH<sub>4</sub>-N/L (ค่าสูงสุด 0.18 mgNH<sub>4</sub>-N/L) จะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียมที่วัดได้ทั้งสองชุดการทดลองอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัย ดังรายงานของ Chen *et al.*(1990) ซึ่งได้ศึกษาพบว่าปริมาณแอมโมเนียมควรไม่เกิน 4.26 mgNH<sub>4</sub>-N/L ในน้ำทะเลความเค็ม 20 psu นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแอมโมเนียมสูงสุดที่วัดได้นั้นมีค่าต่ำกว่าปริมาณแอมโมเนียมสูงสุดที่พบในการทดลองเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดของธัญญา พันธุ์ฤทธิ์ดำ (2541) และ Menasveta *et al.*(2001) ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.67 mgNH<sub>4</sub>-N/L และของ Tseng *et al.*(1998) ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 5.50 mgNH<sub>4</sub>-N/L

ในการศึกษานี้พบปริมาณไนไตรต์เฉลี่ยในชุดควบคุมมีความเข้มข้น  $0.04 \pm 0.19$  mgNO<sub>2</sub>-N/L (ค่าสูงสุด 0.10 mgNO<sub>2</sub>-N/L) ส่วนชุดทดลองนั้นมีปริมาณไนไตรต์เฉลี่ย  $0.02 \pm 0.01$  mgNO<sub>2</sub>-N/L (ค่าสูงสุด 0.05 mgNO<sub>2</sub>-N/L) โดยพบว่าปริมาณไนไตรต์ในชุดควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง อย่างไรก็ตามปริมาณไนไตรต์ที่เพิ่มขึ้นในชุดควบคุมนั้นยังอยู่ในระดับที่ต่ำมากไม่เป็นอันตรายเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนไตรต์ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับกุ้งกุลาดำซึ่ง Chen *et al.*(1990) ได้รายงานไว้คือไม่เกิน 10.60 mgNO<sub>2</sub>-N/L นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนไตรต์ที่ตรวจวัดได้ในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าปริมาณไนไตรต์ที่วัดได้จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิดของ Tseng *et al.*(1998) ซึ่งมีไนไตรต์ความเข้มข้น 0.50 mgNO<sub>2</sub>-N/L ส่วนไนไตรต์ที่พบในการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดของธัญญา พันธุ์ฤทธิ์ดำ (2541) และ Menasveta *et al.*(2001) จะมีปริมาณไนไตรต์ที่ใกล้เคียงกัน คือระหว่าง 0.002-0.029 mgNO<sub>2</sub>-N/L ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าระบบบำบัดในตรีฟิเคชันในบ่อบำบัดที่มีหัวพัน

อากาศและวัสดุกรอง สามารถบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์ในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลจากการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันก็คือการสะสมของไนเตรตในน้ำ ซึ่งพบได้อย่างชัดเจนในบ่อชุดควบคุมที่ไม่มีระบบบำบัดไนเตรต นอกจากนั้นการที่มีระบบบำบัดไนเตรตจะช่วยป้องกันการสะสมไนไตรต์ในน้ำที่เป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ เพราะในระหว่างการบำบัดไนเตรตก็จะเกิดการบำบัดไนไตรต์ไปพร้อมกัน

ระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาวที่สร้างขึ้นใช้ในงานวิจัยนี้สามารถควบคุมปริมาณไนเตรตในน้ำของบ่อชุดทดลองไว้ได้ที่ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย  $17.10 \pm 4.88 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  ส่วนชุดควบคุมนั้นพบว่าปริมาณไนเตรตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จาก  $17.05 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  มาเป็น  $87.77 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  โดยความเข้มข้นของไนเตรตในบ่อชุดควบคุมเพิ่มสูงกว่า  $50 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  หลังจากเริ่มต้นการทดลองเป็นเวลาประมาณ 100 วัน ซึ่ง Whiston, Turk และ Lee (1993) ได้เสนอไว้ว่าระดับของไนเตรตที่ปลอดภัยสำหรับระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรสูงกว่า  $50 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรตของชุดทดลองที่มีระบบบำบัดไนเตรตกับปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบปิดที่มีระบบบำบัดไนเตรตของธัญญา พันธุ์ฤทธิคำ (2541) พบว่าปริมาณไนเตรตของธัญญา พันธุ์ฤทธิคำ (2541) มีค่าสูงกว่า คือ มีปริมาณไนเตรตเฉลี่ยเท่ากับ  $35.75 \pm 4.89 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  ส่วนระบบบำบัดไนเตรตของ Menasveta *et al.* (2001) สามารถควบคุมปริมาณไนเตรตในระบบปิดให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า  $30 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  ซึ่งใกล้เคียงกับระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อที่สามารถควบคุมปริมาณไนเตรตให้อยู่ในระดับต่ำกว่า  $30 \text{ mgNO}_3\text{-N/L}$  ได้เช่นกัน

ในการทดลองนี้พบการสะสมฟอสเฟตเกิดขึ้นในน้ำทั้งในบ่อชุดควบคุมและชุดทดลอง โดยปริมาณฟอสเฟตของชุดควบคุมเพิ่มขึ้นจาก 4.85 เป็น  $9.81 \text{ mgPO}_4\text{-P/L}$  และฟอสเฟตของชุดทดลองเพิ่มขึ้นจาก 6.06 เป็น  $10.25 \text{ mgPO}_4\text{-P/L}$  ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีการบำบัดฟอสเฟตออกจากระบบจึงทำให้ปริมาณฟอสเฟตมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปกติปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำจะต่ำมาก คือจะมีปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำธรรมชาติไม่เกิน  $1 \text{ mgP/L}$  เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปออร์โทฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งพืชน้ำ หรือพวกสาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ (วิรัช จิวแหยม, 2544) ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจึงพบการสะสมของสารประกอบฟอสฟอรัสซึ่งส่วนใหญ่มาจากอาหารกุ้ง แต่โดยทั่วไปการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำค่อนข้างมีความยุ่งยากและยังไม่มีการศึกษากันมากนัก

การที่จัดให้มีหัวฟันท่ออากาศประสิทธิภาพสูงในบ่อบำบัดไนตริฟิเคชัน และมีหัวทรายฟันท่ออากาศในบ่อเลี้ยงกุ้ง ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีอย่างเพียงพอ โดยในบ่อชุดควบคุมและชุดทดลองมีออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง  $5.56 - 8.77 \text{ mg/L}$  ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ คือมากกว่า  $5.5 \text{ mg/L}$  และอยู่ในช่วงมาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่งประเภท 4 (เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) ซึ่งกำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ให้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า  $4 \text{ mg/L}$  ซึ่งการที่น้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงจะช่วยลดการสะสมไนไตรต์ภายในบ่อด้วย (Van Rijn

and Rivera, 1990) และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองของน้ำในบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งในการศึกษาครั้งนี้มีค่า  $26.97 \pm 1.19$  °C และ  $26.82 \pm 1.35$  °C ในบ่อชุดควบคุมและบ่อชุดทดลองตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ (ชัยญา พันธุ์ฤทธิศา, 2541)

pH ของน้ำในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง  $7.81 \pm 0.43$  ในขณะที่ pH ของชุดทดลองมีค่าสูงกว่าคือ  $8.23 \pm 0.25$  การที่ pH ของน้ำในบ่อชุดควบคุมที่ไม่มีระบบบำบัดไนเตรตมีค่าต่ำ เป็นผลที่สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณอัลคาลินิตีในบ่อชุดควบคุมซึ่งเกิดจากแบคทีเรียในระบบบำบัดไนโตรฟิเคชันใช้คาร์บอนในรูปของไบคาร์บอเนตเพื่อการเติบโต ในขณะที่บ่อชุดทดลองซึ่งมีการบำบัดไนเตรตจะมีค่า pH และอัลคาลินิตีสูงกว่า เพราะการลดลงของไบคาร์บอเนตในน้ำเนื่องจากปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชันถูกขัดขวางด้วยการเพิ่มไบคาร์บอเนตในน้ำจากปฏิกิริยาดีไนโตรฟิเคชัน ทำให้ pH ของน้ำสูงขึ้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) อย่างไรก็ตามค่าความกรด-ด่างของทั้งสองชุดการทดลองมีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น pH ที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งควรมีค่าอยู่ในระดับ 7.5-8.5 โดยปกติ pH จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดการสะสมหรือเน่าเสียของอาหารที่ตกค้างจากสิ่งขับถ่ายของกุ้ง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง pH จะส่งผลต่อการเติบโตและการลอกคราบของกุ้ง (วิชัย ลากจตุพร และ อรทัย เคียววานิชย์, 2535)

ในระหว่างจากการทดลอง พบว่าอัลคาลินิตีในบ่อในชุดควบคุมมีการลดลงอย่างมากจนเหลือเพียง  $30 \text{ mgCO}_3^{2-}/\text{L}$  ในวันที่ 140 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำมากจนมีผลต่อการเติบโตของกุ้งจากการสังเกตพบว่ากุ้งจะมีสภาพอ่อนแอและเปลือกนึ่ม หากปล่อยทิ้งไว้ก็อาจจะตายทั้งหมด จึงจำเป็นต้องทำการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มอัลคาลินิตีให้กับบ่อชุดควบคุม ในขณะที่บ่อชุดทดลองไม่พบปัญหาการลดของอัลคาลินิตี แสดงให้เห็นประโยชน์ของการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตเข้ากับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และผลการทดลองที่พบสอดคล้องกับการทดลองของ Aboutboul, Arviv and Van Rijn (1995) ซึ่งพบว่าการเกิดกระบวนการดีไนโตรฟิเคชันจะทำให้ค่า pH ของน้ำในบ่อสูงขึ้น และทำให้ระบบมีอัลคาลินิตีสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ระหว่างการเกิดกระบวนการไนโตรฟิเคชัน จะมีกรดไนตริก และไนไตรต์เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่า pH ของน้ำลดลงได้ (Koiler and Avtation, 1985)

### 5.2.2 การเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งกุลาดำในระบบหมุนเวียน

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งกุลาดำในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด มีอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น คุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยง ลักษณะวิธีการเลี้ยง คุณภาพของกุ้ง ความหนาแน่น อายุและขนาดของกุ้ง ปริมาณและคุณภาพของอาหารที่ให้ ตลอดจนระยะเวลาที่เลี้ยงกุ้งในระบบประกอบกัน (Tseng *et al.*, 1998; Davis and Arnold, 1998) และจากผลการทดลองพบว่าอัตราการเติบโตของกุ้งในบ่อชุดควบคุมและชุดทดลองไม่

แตกต่างกัน แต่พบว่าบ่อชุดทดลองที่มีการบำบัดในตรมมีอัตราการรอดที่ต่ำกว่าในระยะยาว ในความเป็นจริงหากไม่มีการเติมปุ๋ยโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในน้ำของบ่อชุดควบคุมในวันที่ 140 ก็อาจจะทำให้อัตรารอดของกุ้งในบ่อชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่านี้มาก นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการรอดของกุ้งแต่ละเพศมีความแตกต่างกัน และลักษณะทางกายภาพของกุ้งในชุดทดลองค่อนข้างแข็งแรง เปลือกของกุ้งไม่นิ่มเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพของกุ้งในชุดควบคุม ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสภาพแวดล้อมของบ่อในชุดทดลองมีความเหมาะสมต่อการเจริญของกุ้งสูงกว่าชุดควบคุม ผลการเปรียบเทียบการเติบโตของกุ้งที่ได้จากการทดลองนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีการทำมาแล้วพบว่า อัตราการเติบโตของกุ้งมีค่าใกล้เคียงกันกับผลของ Menasveta *et al.* (2001) และมีค่าต่ำกว่าอัตราการเติบโตของพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาว *Litopenaeus vanamai* ที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเล็กน้อย (ตารางที่ 5-13) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราการรอดของกุ้งในชุดการทดลองของการศึกษานี้พบว่า มีอัตราการรอดสูงกว่า 50% ในระยะเวลาการเลี้ยง 7 เดือน และกุ้งที่เลี้ยงในชุดทดลองนี้มีความแข็งแรงมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งถือว่าผลการทดลองที่ได้เป็นผลที่น่าพอใจ นอกจากนี้ยังพบการพัฒนาของถุงเสปิร์มของกุ้งเพศผู้ และเกิดการผสมพันธุ์ของกุ้งขึ้นในบ่อ แต่ไม่พบการพัฒนารังไข่ของกุ้งเพศเมียเนื่องจากกุ้งยังมีขนาดเล็กและไม่ได้ให้อาหารเสริมพิเศษสำหรับเร่งการเจริญพันธุ์ ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักในการศึกษาและพัฒนาระบบบำบัดในตรม ผลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของกุ้งจึงเป็นเพียงผลเบื้องต้นที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีก

ตารางที่ 5-13 อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของพ่อแม่พันธุ์กุ้งที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

ชนิดของกุ้ง	อัตราการเติบโต (กรัม/วัน)	อัตราการรอด (%)	เอกสารอ้างอิง
กุ้งกุลาดำ	0.13-0.14	11-27	ธัญญา พันธุ์ฤทธิ์ดำ (2541)
กุ้งขาว ( <i>Litopenaeus vanamai</i> )	0.18	85	Otoshi <i>et al.</i> (2003)
กุ้งกุลาดำ	0.16-0.19	38-54	ผลการศึกษานี้

### 5.3 สมดุลไนโตรเจน

ผลการศึกษасสมดุลไนโตรเจน (Nitrogen balance หรือ Nitrogen Budget) โดยประเมินปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เปรียบเทียบกับไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลอง ในหัวข้อ 4.2.4 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่มีรายงานไว้แล้ว พบว่าไนโตรเจนจากอาหารที่เข้าไปอยู่ในตัวกุ้งของการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าการเลี้ยงกุ้งในสภาวะบ่อดิน

ตามที่ Coddington (1995) และ Briggs and Smith (1998) ได้รายงานไว้มาก แสดงว่าประสิทธิภาพของการนำไนโตรเจนไปใช้มีค่าต่ำ ส่งผลให้ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะพบอยู่ในน้ำ

ตารางที่ 5-14 การเปรียบเทียบผลของการศึกษาคูลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งจากเอกสารที่ได้มีรายงานไว้กับผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

ร้อยละของไนโตรเจนจากการให้อาหารต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อตลอดการเลี้ยง	ร้อยละของไนโตรเจนที่พบในตัวสัตว์น้ำเปรียบเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อ	ร้อยละของไนโตรเจนที่พบในน้ำ เปรียบเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อ	เอกสารอ้างอิง
40	16	72	Coddington (1995)
78	18	30	Briggs and Smith (1998)
59-63	1.3-7	93-98	ผลจากการศึกษาครั้งนี้

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 5-13 พบว่าแม้สัดส่วนปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำของบ่อชุดควบคุมและชุดทดลองจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก (98 และ 93 % ตามลำดับ) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของไนโตรเจนในน้ำ (ตาราง 5-14) จะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจนในน้ำของบ่อชุดควบคุม (654 g-N/pond) มีมากกว่าบ่อชุดทดลอง (148 g-N/pond) ถึง 4.4 เท่าตัว ซึ่งไนโตรเจนที่หายไปก็คือการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นแก๊สไนโตรเจนโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันภายในระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อยาว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยที่ทำให้ระบบบำบัดในเตรตแบบท่อขาวนี้ มีประสิทธิภาพในการบำบัดในเตรตได้ โดยไม่เกิดการสะสมไนไตรต์ และไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าอัตราการเติมเมธานอลที่เหมาะสมคือ 10 ml/L และความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 5% ซึ่งปัจจัยทั้งสองจะทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้มากกว่า 80% แต่ปัญหาที่พบ คือ เมื่อให้ระบบทำงานอย่างต่อเนื่อง จะพบแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น จึงต้องมีการหยุดเติมเมธานอล เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพในการบำบัด ดังนั้นจึงต้องควบคุมระบบการเติมเมธานอล จึงได้ทำการศึกษา ซึ่งได้ใช้ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) เป็นตัวกำหนดการเติมเมธานอลให้กับระบบ พบว่า การควบคุมการเติมเมธานอลด้วยมือ และด้วยระบบอัตโนมัติ สามารถทำให้ระบบบำบัดในเตรตได้ แต่การควบคุมการเติม เมธานอลด้วยระบบอัตโนมัติ จะให้ความสะดวกและคงที่มากกว่าการควบคุมด้วยมือ

เนื่องจากระบบบำบัดในเตรตเกิดการอุดตัน จึงทำการล้างและติดตั้งระบบใหม่ ทำให้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเร็วขึ้น จึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของการทำงานของระบบ ทั้งสองระยะเวลาการกักเก็บน้ำ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดในเตรตมากกว่า 80% ขึ้นไปทั้งสองระบบ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละรอบของการเติมเมธานอลพบว่า ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 1-2 ชั่วโมงเร็วกว่า และมีการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระยะเวลาที่สั้นกว่า ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 3-4 ชั่วโมง

ช่วงค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) สำหรับควบคุมการเติมเมธานอลให้กับระบบ เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากช่วงค่า ORP-200 ถึง -400 mV พบการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงต้องมีการปรับช่วงค่า ORP ให้เหมาะสม โดยไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ตลอดระยะเวลาการทำงานของระบบบำบัดในเตรต ผลที่ได้คือ ช่วง -310 ถึง 320 mV เป็นช่วงที่เหมาะสม เนื่องจากระบบสามารถบำบัดในเตรตได้มากกว่า 80% และไม่เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

การใช้เครื่องตั้งเวลาในการควบคุมการเติมเมธานอลแทน ORP controller พบว่าระบบสามารถทำงานได้แต่ช่วงระยะเวลาที่เกิดการบำบัดนั้นน้อยกว่า 50 นาที เมื่อเทียบกับการใช้เวลาทั้งหมดในรอบของการเติมเมธานอล ซึ่งใช้เวลา 198 นาที ดังนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบำบัดในเตรตจึงต่ำกว่าการควบคุมด้วย ORP controller

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเค็มในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าไม่มีผลต่อการบำบัดของระบบบำบัดไนเตรต สังเกตได้จากการขึ้น-ลงของค่า ORP พบว่า ลักษณะการขึ้น-ลงของค่า ORP มีลักษณะเช่นเดียวกับ ลักษณะการขึ้น-ลงของค่า ORP ก่อนการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลานานจำเป็นต้องมีระบบบำบัดไนเตรต ซึ่งระบบบำบัดไนเตรตที่ทำการศึกษาในครั้งนี้พบว่า สามารถช่วยลดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจน และช่วยรักษาปริมาณไนเตรตไม่ให้เกิดการสะสมเพิ่มขึ้น โดยระบบบำบัดไนเตรตสามารถบำบัดไนเตรตที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนเตรตโดยใช้กับระบบเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เป็นเวลา 210 วัน พบว่า ระบบบำบัดไนเตรต สามารถช่วยทำให้ระบบการเพาะเลี้ยงมีสารประกอบไนโตรเจนลดลง มากกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเลี้ยงที่ไม่มีระบบบำบัด ซึ่งมีการสะสมของสารประกอบไนโตรเจน มากกว่า 70 %

ตลอดระยะเวลาการทดลอง 210 วัน พบว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรต อัลคาลินิตี และ pH มีแนวโน้มลดต่ำลง ซึ่งมีผลต่อกุ้งกุลาดำโดยทำให้กุ้งกุลาดำมีเปลือกนุ่มไม่แข็งแรง จึงต้องทำการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มอัลคาลินิตี และ pH ให้กับระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีการติดตั้งระบบบำบัดไนเตรตกลับพบว่า อัลคาลินิตี และ pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

เมื่อทำการตรวจหา *Vibrio* sp. พบว่า มีปริมาณที่น้อยมากไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำที่ทำการเลี้ยง

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ในเรื่องการควบคุมระบบด้วยเครื่องตั้งเวลา เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัด
2. ควรมีศึกษานำระบบบำบัดในเตรตไปใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรต่อไป
3. ควรมีการศึกษาแหล่งคาร์บอนชนิดอื่น เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับระบบ และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัด
4. ควรมีการศึกษาวาสคูที่ใช้เป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียในระบบบำบัดในเตรตแบบท่อ เพื่อเพิ่มทางเลือก และสามารถทดแทนกันได้
5. ควรมีการศึกษาองค์ประกอบชนิดของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบท่อยาว เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาระบบให้มีศักยภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น และสามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดสำหรับบำบัดในเตรตในน้ำเสียชนิดอื่นๆ ต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment). พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมบำบัดน้ำเสีย เล่ม 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์.
- คณิต ไชยาคำ และ ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 27 หน้า
- ชลอ ลิมสุวรรณ. 2535. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : บริษัทฐานเศรษฐกิจ จำกัด.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย.
- ธัญญา พันธุ์ฤทธิ์คำ. 2541. ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีระบบดีไนตริฟิเคชันสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ(Penaeus monodon). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสีย การบำบัดทางชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรพงษ์ จรรย์ญากรณ์. 2545. การใช้สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บรรจง เทียนสงรัมย์. การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อักษรเจริญทัศน์, 2530.
- มันสิน ตันทุลเวศน์. 2538. การกำจัดไนเตรทและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย. เอกสารประกอบการอบรมการจัดการโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย วันที่ 15-25 สิงหาคม 2538 ฝ่ายการศึกษา-ต่อเนื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มันสิน ตัณฑุลเวศน์. 2538. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. เอกสารประกอบการอบรมการจัดการโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย วันที่ 15-25 สิงหาคม 2538 ฝ่ายการศึกษา-ต่อเนื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตัณฑุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเล่ม 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตัณฑุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตัณฑุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วิชัย ลากจตุพร และอรทัย เดี่ยววานิชย์. 2535. พีเอช. ฝ่ายวิชาการบริษัทแลปอินเตอร์จำกัด.
- วิรัช จิวแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริวัฒน์ คูเจริญไพบูลย์. 2544. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดระบบปิดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาจุลชีววิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2536. ข้อควรพิจารณาในการจัดการบ่อเลี้ยงกุ้ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 23. กรุงเทพมหานคร.
- สมบัติ รักประทานพร. 2542. การเสริมภูมิคุ้มกันโรคในกุ้งกุลาดำ *Penaeus Monodon* ด้วย BACILLUS สายพันธุ์ S11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวิมล ตันตสุกิจวานิช. 2545. ระบบบำบัดในเตรทสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อำไพเทพิน สิงหะพันธุ์. 2543. ระบบบำบัดในเตรทเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## ภาษาอังกฤษ

- Aboutboul, Y., Arviv, R., and Van Rijn., J. 1995. Anaerobic treatment of intensive fish culture effluents : volatile fatty acid mediated denitrification. Aquaculture. 133: 21-32.
- Anderson, G. K. and Ibrahim, A. B.1978.Treatment of high nitrate wastewater by plastic media anaerobic filters with particular reference to latex processing. Progress in Water Technology. 10 (May/June) : 237-253.
- Association of Official Analytical Chemists. 1980. Official method of analysis. 13<sup>th</sup> edition. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists
- Balderston, W.L. 1974. Denitrification in closed-system aquaculture. Ph.D.Thesis, University of Rhode Island, Rhode Island.
- Bitton, G. 1994. Wastewater microbiology. New York, USA: John Wiley & Son.51-61p
- Briggs, M. R. P.,and Smith, S. J. F. 1998. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds implications for sustainability. Aquacultural Engineering. 164: 117-133.
- Chen, J., and Chin, T.1988. Acute toxicity of nitrite of Tiger prawn *Penaeus monodo* ,larva. Aquaculture 69: 253-262.
- Chen, J. C., Lui, P. C. and Lei, S.C. 1990. Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. Aquaculture. 89: 127-137.
- Coddington, D. T. 1995. Characterization of shrimp farm effluents in Honduras and chemical budget of selected nutrients. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Programme. Oregon state University, Corvallis, Oregon.
- Davis, D. A., and Arnold, C. R. 1998. The design, management and production of a recirculation raceway system for the production of marine shrimp. Aquaculture. 17:193-211.
- Epifano, C.F. and Srna, R.F. 1975. Toxicity of ammonia, nitrite ion, nitrate ion, orthophosphate to *Mercenaria mercenaria* and *Crassostrea virginica*. Marine Biology 33: 241-246.
- Gordan, G., and Christopher, J.C. 1998. Modeling of Nitrate and Bromate in seawater aquarium. Water Research. 36: 6 pp.759-1768.
- Gomez, M. A., Lopez, J. G., and Garcia, E.H. 2000. Influence of carbon source on nitrate removal of contaminated groundwater in denitrifying submerged filter. Journal of Hazardous Materials. B80: 69-80.
- Grasshoff, K., Kremling, K., and Ehraedt, M. 1999. Method of seawater Analysis . 3<sup>rd</sup> edition. Weinheim : Wiley-Vch.

- Greenberg, A.E., Clesceri, S.L., and Eaton, A. D. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18<sup>th</sup> edition. Maryland : American Pluplic Health Association.
- Hart, P., and O'Sullivan, D. 1993. Recirculation system: Design, construction and management. Australia: Turtle Press Pty. 127p.
- Her, J. J., and Huang. J. S. 1995. Influences of carbon source and C/N ratio on nitrate/nitrite denitrification and carbon breakthrough 54: 45-5.
- Hirayama, K. 1966. Influence of nitrate accumulated in culturing water on *Octopus Vulgaris*. Bulletin of the japanese society of science and fishery 32: 105-111.
- Knowler, R. 1982. Denitrification. Microbiology Review. 46:1pp.43-70.
- Koiller, M., and Avtation, R. R. 1985. A laboratory scale recycling water unit for tilapia breeding. Aquacultural Engineering. 4: 235-246.
- Lee, P.G., Lea, R.N.,Dohmann, E., Preblisky, W., Turk, P. E., Ying, H., and Whitson, J.L. 2000. Denitrification in aquaculture system: an example of fuzzy logic control proplem. Aquacultural Engineering 23:37-59.
- Lewandowski, Z. 1985. Denitrification by packed bed reactors in the presence of chromium (VI). Water Research. 19: 5 pp.589-596.
- Liao, P. B., and Mayo, R. D. 1972. Salmonid hatchery water re-use system. Aquaculture 1 : 317-335.
- Menasveta, P., Panritdam, T., Sihanonth, P., Powtongsook, S., Chuntapa, B. and Lee, P. 2001. Design and function of closed, recirculating seawater system with denitrification for the black tiger shrimp broodstock. Aquacultural Engineering. 25:35-49.
- Otoshi, C, A., Arce, S, M., and Moss, S, M. 2003. Growth and reproductive performance of broodstock shrimp reared in a biosecure recirculating aquaculture system versus a flow through pond. Aquacultural Engineering. 29:93-107.
- Silen, L.G. 1965. Oxidation states of Earth's ocean and atmosphere: a model calculation on earlier states: the myth of prebiotic soup. Achiv Kemi Acta 24: 431-456.
- Spotte, S. 1979. Fish and invertebrate culture: Water management in closed system. 2<sup>ed</sup> Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Strickland, J. D. H., and Parsons, T. R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2<sup>nd</sup> Edition. Ottawa: Fisheries Research board of Cannada. 310p.
- Tseng, K.F.; Su, H.M. and Su, M-S. 1998. Culture of *Penaeus monodon* in a recirculating system. Aquaculture Engineering 17: 138-147.

- U.S.EPA, 1975. Process Design Manual for Nitrogen Control. Washington, DC: Office of Technology Transfer.
- Van Rijn, J. 1996. The potential for intergrated biological treatment systems in recirculating culture review. Aquaculture. 139:181-201.
- Van Rijn, J., and Rivera, G. 1990. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit; Nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification. Aquacultural Engineering 9: 217-234
- Whitson, J., Turk, P. and Lee, P. 1993. Biological Denitrification in a Closed Recirculating marine culture system. Aquaculture Engineering Conf., Spokane, WA (USA), 21-23 June 1993.
- Zweig, D.R., Morton, J. D., and Stewart, M. M. 1999. Source water quality for aquaculture: a guide for assessment. Environmentally and Socially Sustainable Development, The World Bank, Washington, D.C. 533 p.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





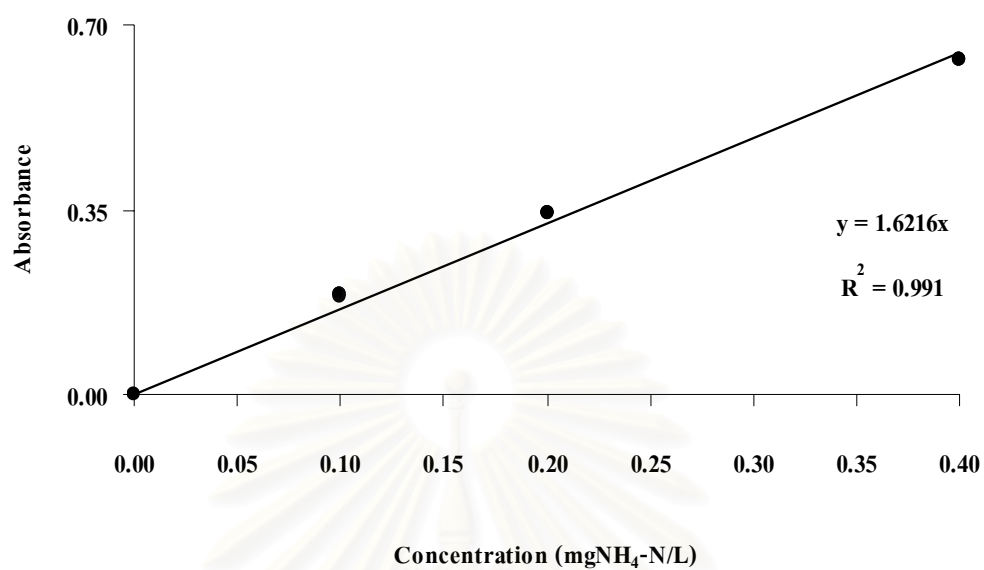
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



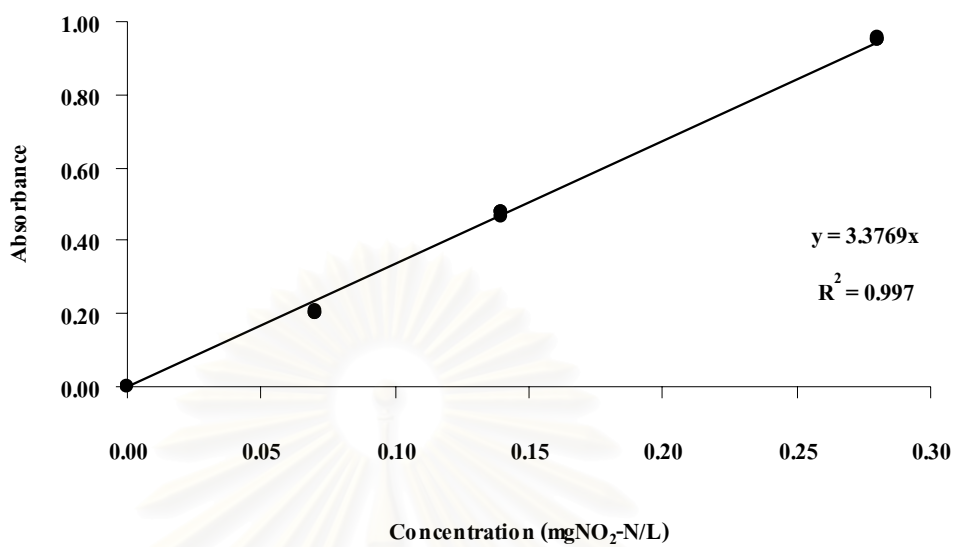
ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



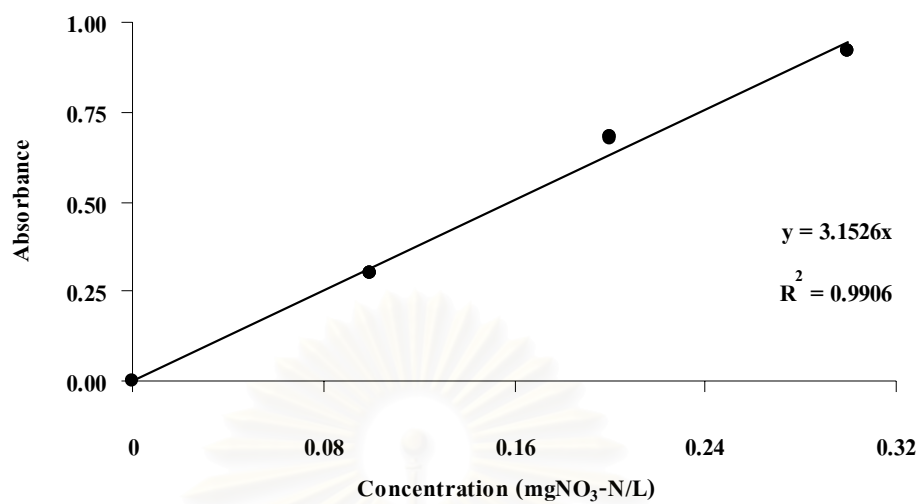
กราฟที่ 1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียม (NH<sub>4</sub>-N) (หัวข้อที่ 3.4.1)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



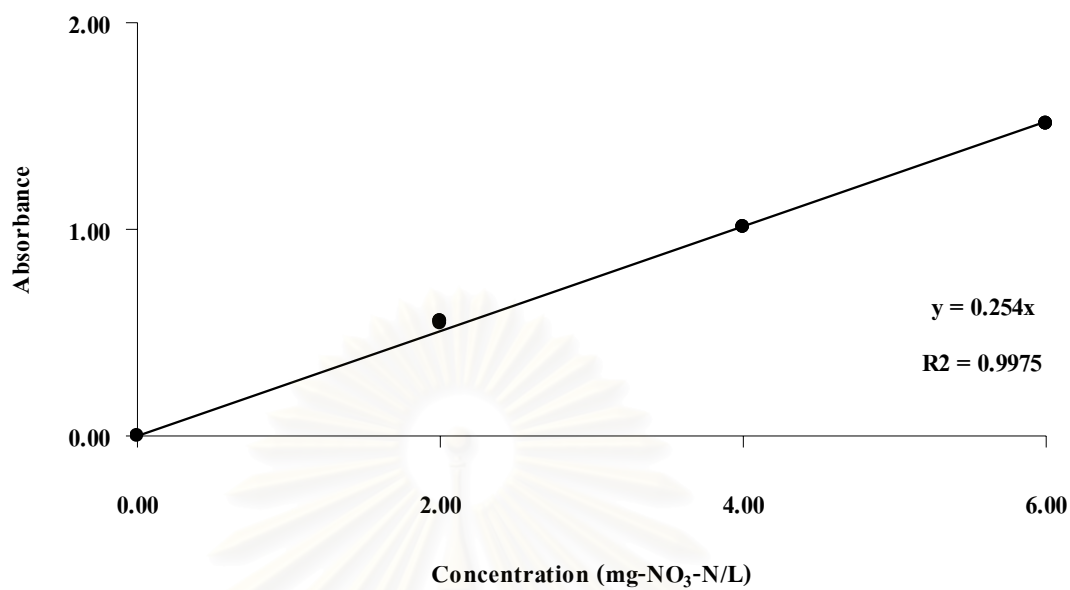
กราฟที่ 2 กราฟมาตรฐานไนไตรท์ (NO<sub>2</sub>-N) (หัวข้อที่ 3.4.2)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



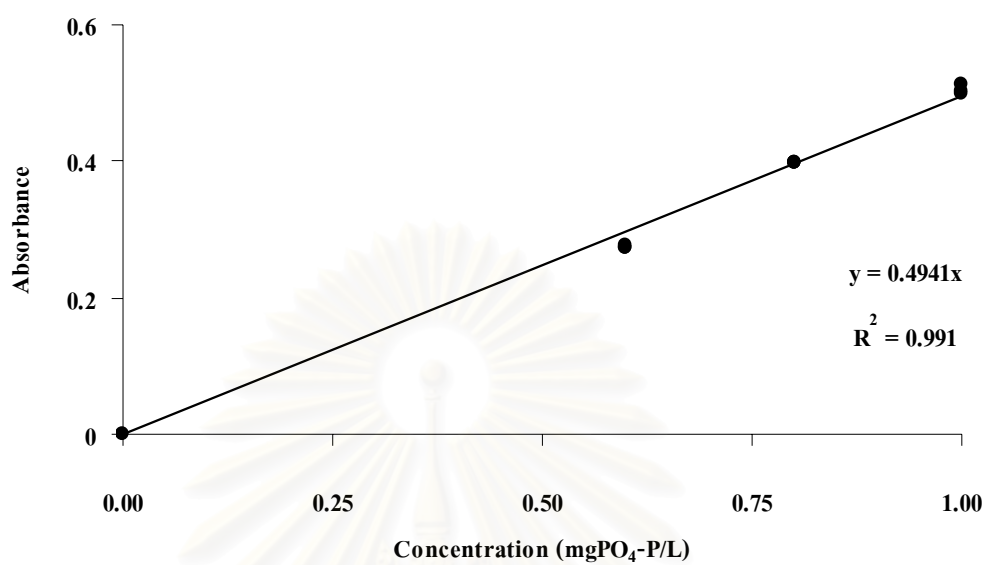
กราฟที่ 3 กราฟมาตรฐานไนเตรท (NO<sub>3</sub>-N) (หัวข้อที่ 3.4.3)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กราฟที่ 4 กราฟมาตรฐานไนเตรท (NO<sub>3</sub>-N) (หัวข้อที่ 3.4.4)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กราฟที่ 5 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต (PO<sub>4</sub>-P) (หัวข้อที่ 3.4.6)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 1 อัตราการเติมเมทานอล และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท้อ (หัวข้อ 4.1.1)

date	day	Retention time (hr)	Concentration of MeOH. (%)	Flowrate of MeOH. (ml/hr)	Nitrate In (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD	Nitrate Out (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD	Nitrate Treatment (%)	SD
12/5/2003	0	0	20	0	33.55	0.51	17.00	0.26	49.33	1.02
13/5/2003	1	5.51	20	25	34.17	0.24	20.59	0.53	39.73	1.37
14/5/2003	2	3.09	20	25	33.57	0.70	25.16	0.26	25.03	1.11
15/5/2003	3	3.09	20	15	34.21	0.40	20.98	0.38	38.66	1.41
16/5/2003	4	3.09	20	15	32.62	1.22	20.53	3.40	46.07	4.32
17/5/2003	5	3.09	20	10	38.67	1.02	0.47	0.25	98.78	0.66
18/5/2003	6	3.09	20	10	32.97	0.49	19.21	0.86	41.71	3.50
19/5/2003	7	3.98	20	10	34.64	0.97	22.32	0.34	35.51	2.70
20/5/2003	8	3.98	20	10	36.91	0.41	3.77	0.15	89.79	0.52
21/5/2003	9	3.09	20	10	29.55	0.09	5.10	0.06	82.74	0.22
22/5/2003	10	3.09	20	10	33.43	0.62	1.86	0.28	94.44	0.80
23/5/2003	11	3.5343	20	10	31.20	0.24	0.37	0.09	98.81	0.28
24/5/2003	12	1.848	20	10	26.93	0.53	1.09	0.15	95.96	0.60
25/5/2003	13	1.848	20	10	24.20	0.83	1.47	0.23	93.93	1.04
26/5/2003	14	2.6103	20	10	26.31	0.45	1.23	0.14	95.31	0.55
27/5/2003	15	2.6103	20	10	24.86	0.30	15.88	0.18	98.29	0.71
28/5/2003	16	2.42088	20	10	28.58	0.21	7.98	0.09	35.56	2.83
29/5/2003	17	1.8018	20	10	25.64	0.19	6.76	0.11	73.64	0.59

ตารางที่ 2 อัตราการเติมเมทานอล ปริมาณแอมโมเนียม และไนไตรต์ ก่อนและหลังการบำบัด (หัวข้อ 4.1.1)

date	day	Retention time (hr)	Flowrate of MeOH. (ml/hr)	Nitrite In (mgNO <sub>2</sub> -N/L)	SD	Nitrite Out (mgNO <sub>2</sub> -N/L)	SD	Ammoniam In (mgNH <sub>4</sub> -N/L)	SD	Ammoniam Out (mgNH <sub>4</sub> -N/L)	SD
12/5/2003	0	0	0	0.02	0.01	13.33	0.45	0.33	0.08	0.45	0.14
13/5/2003	1	5.51	25	0.23	0.04	12.31	0.66	0.29	0.11	0.42	0.03
14/5/2003	2	3.09	25	0.12	0.02	8.17	0.10	0.35	0.04	0.34	0.04
15/5/2003	3	3.09	15	0.29	0.03	13.52	0.14	0.41	0.11	0.27	0.05
16/5/2003	4	3.09	15	0.06	0.00	22.28	0.68	0.35	0.09	0.26	0.16
17/5/2003	5	3.09	10	0.01	0.00	0.50	0.04	0.43	0.05	0.25	0.10
18/5/2003	6	3.09	10	0.02	0.00	8.64	0.06	0.34	0.05	0.34	0.13
19/5/2003	7	3.98	10	0.05	0.00	19.22	0.10	0.35	0.03	0.33	0.04
20/5/2003	8	3.98	10	0.08	0.08	5.32	0.03	0.29	0.06	0.22	0.12
21/5/2003	9	3.09	10	0.01	0.01	0.01	0.00	0.38	0.00	0.31	0.03
22/5/2003	10	3.09	10	0.16	0.27	0.07	0.00	0.33	0.02	0.29	0.22
23/5/2003	11	3.53	10	0.07	0.01	0.03	0.00	0.38	0.13	0.34	0.03
24/5/2003	12	1.85	10	0.07	0.00	0.01	0.00	0.32	0.04	0.34	0.10
25/5/2003	13	1.85	10	0.01	0.00	0.01	0.00	0.31	0.06	0.40	0.14
26/5/2003	14	2.61	10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	0.08	0.33	0.07
27/5/2003	15	2.61	10	0.03	0.00	0.02	0.00	0.36	0.28	0.33	0.13
28/5/2003	16	2.42	10	0.03	0.01	1.11	0.01	0.34	0.05	0.32	0.04
29/5/2003	17	1.80	10	0.14	0.01	0.65	0.00	0.38	0.00	0.37	0.02

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของเมธานอล และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตของระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อ (หัวข้อ 4.1.2)

date	day	Retention time (hr)	Concentration of MeOH. (%)	Flow rate of MeOH. (ml/hr)	ORP (mV)	Nitrate In (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD	Nitrate Out (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD	Nitrate Treatment (%)	SD
9/6/2003	0	2.43	20	10	60	26.22	0.22	22.75	0.22	-5.27	0.65
10/6/2003	1	2.52	20	10	-69	26.47	0.14	15.30	0.07	25.58	0.36
11/6/2003	2	3.58	20	10	-361	25.06	0.08	4.88	0.12	80.53	0.52
12/6/2003	3	1.69	10	10	-285	25.56	0.04	0.89	0.04	96.53	0.16
13/6/2003	4	3.05	10	10	-494	29.85	0.09	1.75	0.25	94.13	0.85
14/6/2003	5	2.59	5	10	-481	31.93	0.32	0.72	0.16	97.75	0.51
15/6/2003	6	2.84	5	10	-480	31.60	0.22	0.12	0.17	99.61	0.55
16/6/2003	7	2.40	5	10	-456	29.11	0.43	2.32	0.11	92.03	0.50

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของเมธานอล ไนไตรต์ และแอมโมเนียม (หัวข้อ 4.1.2)

date	day	Retention time (hr)	Concentration of MeOH. (%)	Nitrite In (mgNO <sub>2</sub> -N/L)	SD	Nitrite Out (mgNO <sub>2</sub> -N/L)	SD	Ammoniam In (mgNH <sub>4</sub> -N/L)	SD	Ammoniam Out (mgNH <sub>4</sub> -N/L)	SD
9/6/2003	0	2.43	20	0.04	0.01	0.46	0.01	0.25	0.15	0.36	0.03
10/6/2003	1	2.52	20	0.11	0.01	3.69	0.12	0.38	0.00	0.39	0.19
11/6/2003	2	3.58	20	0.02	0.00	0.03	0.00	0.30	0.06	0.39	0.06
12/6/2003	3	1.69	10	0.10	0.00	0.33	0.00	0.34	0.19	0.40	0.06
13/6/2003	4	3.05	10	0.03	0.00	0.06	0.00	0.28	0.06	0.34	0.03
14/6/2003	5	2.59	5	0.04	0.01	0.09	0.01	0.28	0.08	0.22	0.11
15/6/2003	6	2.84	5	0.03	0.00	0.05	0.00	0.29	0.08	0.25	0.07
16/6/2003	7	2.40	5	0.04	0.00	0.05	0.00	0.35	0.02	0.34	0.06

ตารางที่ 5 ค่า ORP และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตระหว่างการควบคุมด้วยมือกับการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ (หัวข้อ 4.1.3)

date	day	Retention time (hr)	Concentration of MeOH. (%)	Flow rate of MeOH. (ml/hr)	ORP (mV)	Nitrate In (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD	Nitrate Out (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD	Nitrate Treatment (%)	SD
16/6/2003	0	2.54	5	10	-203	29.11	0.40	20.31	0.07	30.22	1.11
16/6/2003	1	2.84	5	10	-445	26.89	0.14	5.99	0.26	77.72	0.91
17/6/2003	2	1.40	5	10	-138	26.77	0.36	20.15	0.04	24.71	0.88
18/6/2003	3	0.43	5	10	-456	31.65	0.34	2.20	0.04	93.06	0.07
19/6/2003	4	2.24	5	10	-116	28.22	0.16	23.52	0.41	16.65	1.23
20/6/2003	5	2.84	5	10	-425	29.17	0.20	0.97	0.05	96.66	0.18
24/6/2003	6	2.73	5	10	-256	26.72	0.12	18.02	0.09	32.57	0.12
25/6/2003	7	2.01	5	10	-252	25.83	0.74	6.23	0.36	75.85	2.08
26/6/2003	8	2.45	5	10	-418	28.91	0.44	1.31	0.48	95.47	1.70
27/6/2003	9	2.13	5	10	-406	26.08	0.00	0.41	0.35	98.43	1.34

ตารางที่ 6 ปริมาณแอมโมเนียม และไนไตรต์ ก่อนและหลังการบำบัด (หัวข้อ 4.1.3)

date	day	Retention time (hr)	Concentration of MeOH. (%)	Flow rate of MeOH. (ml/hr)	ORP (mV)	Nitrite In (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD	Nitrite Out (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	SD
16/6/2003	0	2.54	5	10	-203	0.04	0.01	0.01	1.87
16/6/2003	1	2.84	5	10	-445	0.21	0.03	0.00	0.17
17/6/2003	2	1.40	5	10	-138	0.08	0.00	0.01	1.05
18/6/2003	3	0.43	5	10	-456	0.03	0.01	0.00	0.03
19/6/2003	4	2.24	5	10	-116	0.03	0.00	0.00	0.25
20/6/2003	5	2.84	5	10	-425	0.14	0.01	0.00	0.03
24/6/2003	6	2.73	5	10	-256	0.04	0.01	0.01	3.24
25/6/2003	7	2.01	5	10	-252	0.44	0.00	0.00	0.80
26/6/2003	8	2.45	5	10	-418	0.03	0.00	0.01	0.06
27/6/2003	9	2.13	5	10	-406	0.02	0.00	0.01	0.06

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำของชุดควบคุมและชุดทดลอง (หัวข้อ 4.2.1)

Date	Day	Control Pond								Treatment Pond							
		Nitrate (mg-N/L)	SD	Ammoniam (mgNH4-N/L)	SD	Nitrite (mg-N/L)	SD	Phosphate (mg-P/L)	SD	Nitrate (mg-N/L)	SD	Ammoniam (mgNH4-N/L)	SD	Nitrite (mg-N/L)	SD	Phosphate (mg-P/L)	SD
21/8/2003	0	19.02	0.72	0.01	0.00	0.03	0.00	6.54	0.01	17.89	1.20	0.01	0.00	0.03	0.00	6.78	0.03
31/8/2003	10	17.05	1.26	0.04	0.00	0.01	0.00	4.85	0.01	14.05	1.01	0.05	0.00	0.01	0.00	6.06	0.00
10/9/2003	20	26.18	1.49	0.07	0.00	0.02	0.00	6.16	0.00	19.43	1.25	0.05	0.00	0.02	0.00	6.42	0.00
20/9/2003	30	27.14	0.52	0.13	0.00	0.03	0.00	8.26	0.00	17.35	0.31	0.05	0.00	0.02	0.00	8.10	0.01
30/9/2003	40	40.94	0.51	0.06	0.00	0.03	0.00	7.37	0.00	18.96	0.12	0.03	0.00	0.02	0.00	10.25	0.01
10/10/2003	50	50.56	1.00	0.19	0.06	0.03	0.00	5.33	0.00	18.93	0.12	0.15	0.00	0.04	0.00	8.05	0.09
20/10/2003	60	50.59	0.76	0.12	0.03	0.06	0.00	8.40	0.04	27.16	0.31	0.15	0.01	0.05	0.00	9.10	0.09
30/10/2003	70	51.85	2.96	0.10	0.01	0.06	0.00	9.07	0.12	27.16	0.16	0.15	0.01	0.03	0.00	8.78	0.01
10/11/2003	80	36.17	0.76	0.08	0.00	0.04	0.00	7.53	0.05	18.28	0.17	0.10	0.01	0.02	0.00	7.60	0.17
19/11/2003	90	45.60	0.23	0.06	0.00	0.10	0.00	8.31	0.07	13.56	0.12	0.08	0.01	0.04	0.00	8.62	0.03
28/11/2003	100	53.05	0.91	0.05	0.01	0.03	0.00	8.50	0.08	19.48	5.58	0.03	0.01	0.01	0.00	8.67	0.08
10/12/2003	110	54.03	0.39	0.01	0.00	0.03	0.00	8.14	0.10	16.73	0.47	0.00	0.00	0.01	0.00	8.15	0.01
19/12/2003	120	55.95	5.32	0.05	0.01	0.03	0.00	9.20	0.01	12.96	0.35	0.02	0.01	0.02	0.00	8.88	0.08
30/12/2003	130	63.07	0.11	0.21	0.36	0.03	0.00	8.99	0.04	11.83	0.50	0.01	0.01	0.02	0.00	8.83	0.06
10/1/2004	140	63.09	5.23	0.06	0.03	0.04	0.00	9.81	0.04	5.72	2.60	0.09	0.03	0.03	0.00	9.50	0.01
20/1/2004	150	72.67	0.39	0.18	0.03	0.06	0.00	8.38	0.04	11.73	0.29	0.18	0.05	0.02	0.00	9.26	0.08
30/1/2004	160	78.00	1.10	0.06	0.00	0.04	0.00	7.50	0.03	16.22	1.02	0.09	0.00	0.02	0.00	8.52	0.01
10/2/2004	171	85.40	0.16	0.05	0.01	0.04	0.00	7.65	0.60	18.95	2.48	0.02	0.01	0.01	0.00	9.24	0.04
20/2/2004	180	79.60	0.36	0.05	0.00	0.04	0.00	6.35	0.07	17.58	0.66	0.02	0.00	0.01	0.00	6.32	0.22
29/2/2004	192	84.13	0.96	0.05	0.03	0.06	0.00	6.94	0.02	18.10	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	7.72	0.01
10/3/2004	200	84.99	0.45	0.08	0.01	0.05	0.00	6.31	0.00	19.06	0.25	0.06	0.00	0.01	0.00	6.61	0.03
20/3/2004	210	87.77	0.12	0.07	0.01	0.07	0.00	6.32	0.02	12.39	0.33	0.06	0.00	0.01	0.00	7.23	0.01

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำของชุดควบคุมและชุดทดลอง (หัวข้อ 4.2.1) (ต่อ)

Date	Day	Control Pond					Treatment Pond				
		Temperature (c)	pH	DO (mg/L)	Salinity (psu)	Alkalinity (mg/L)	Temperature (c)	pH	DO (mg/L)	Salinity (psu)	Alkalinity (mg/L)
21/8/2003	0	27	8.11	5.56	25	110	27	8	5.89	25	108
31/8/2003	10	27	7.88	5.56	25	90	27	7.95	5.89	25	120
10/9/2003	20	28	7.96	6.83	25	85	28	8.15	6.03	25	130
20/9/2003	30	25.5	7.82	6.99	26	76	25.5	8.03	6.52	26	125
30/9/2003	40	26.8	7.7	7.02	26	81	26.5	7.99	6.78	26	145
10/10/2003	50	26.5	7.71	6.89	27	71	26.8	8.13	6.59	27	145
20/10/2003	60	24	7.46	6.89	27	60	24	7.96	7.02	27	140
30/10/2003	70	28.5	7.39	6.92	29	52	28	8	6.95	29	142
10/10/2003	81	28.5	7.67	6.92	25	50	28.6	8.08	6.94	25	145
19/11/2003	90	27.5	7.49	6.89	25	50	28.6	8.67	7.96	25	110
28/11/2003	99	26.7	7.28	8.15	25	35	26.5	8.27	8.11	25	150
10/12/2003	110	26.6	7.36	8.3	25	30	28.3	8.34	8.2	25	170
19/12/2003	119	27.8	7.78	7.9	25	40	25.3	8.6	8.4	25	183
30/12/2003	130	25.8	7.32	8.42	26	32	24.6	8.09	8.77	25	149
10/1/2004	141	28.3	7.33	7.75	25	38	26.7	8.41	8.17	25	218
20/1/2004	151	27	8.15	8.09	25	196	27	7.98	8.04	25	162
30/1/2004	161	27	8.27	8.6	26	215	27	8.23	8.65	26	194
10/2/2004	171	25	8.45	8.75	25	210	25	8.41	8.36	25	215
20/2/2004	180	28	8.88	8.23	25	205	28	8.52	8.19	25	180
29/2/2004	190	28	8.26	7.94	32	200	28	8.7	7.99	32	210
10/3/2004	200	28	8.55	8.21	36	225	28	8.67	8.16	36	210
20/3/2004	210	28	8.16	8.06	34	196	28	8.15	8.03	34	215

ตารางที่ 8 ระยะเวลาที่เก็บน้ำของระบบบำบัดไนเตรตและประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตโดยใช้  
ค่า ORP ในช่วง -200 ถึง -400 mV ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 3-4 ชั่วโมง (หัวข้อ 4.2.2.2)

date	Time (min)	Retention time (hr)	ORP (mV)	Nitrate Treatment (%)	SD
7/8/2003	0	3.58	-200	19.49	0.10
	60	3.58	-198	19.16	0.55
	120	3.58	-198	57.27	0.03
	180	3.58	-202	72.62	0.03
	240	3.58	-209	75.58	0.02
	300	3.58	-209	76.79	0.11
	360	3.58	-212	73.28	0.40
	420	3.58	-212	77.65	0.03
	480	3.58	-214	82.44	0.27
	540	3.58	-214	80.42	0.43
	600	3.58	-215	84.19	0.05
	660	3.58	-219	85.38	0.21
	720	3.58	-235	86.97	0.03
	780	3.58	-255	85.38	0.35
	840	3.58	-247	88.52	0.08
	900	3.58	-278	87.72	0.21
	960	3.58	-348	87.59	0.03
	980	3.58	-380	88.22	0.05
	985	3.58	-388	88.65	0.25
	990	3.58	-400	87.79	0.37
	1000	3.58	-423	69.99	1.36
	1050	3.58	-438	69.66	0.14

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ระยะเวลาที่เก็บน้ำของระบบบำบัดไนเตรต และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตโดยใช้ค่า ORP ในช่วง -200 ถึง -400 mV ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 1-2 ชั่วโมง (หัวข้อ 4.2.2.2)

date	Time (min)	Retention time (hr)	ORP (mV)	Nitrate Treatment (%)	SD
11/12/2003	0	1.29	-200	31.22	0.49
	30	1.29	-193	20.25	0.63
	60	1.29	-198	57.81	0.00
	90	1.29	-202	72.62	0.03
	120	1.29	-209	75.88	0.02
	150	1.29	-209	79.48	0.01
	180	1.29	-210	76.54	0.36
	210	1.29	-212	77.65	0.03
	240	1.29	-214	84.43	0.23
	270	1.29	-214	81.69	0.37
	300	1.29	-215	84.73	0.04
	330	1.29	-218	87.03	0.18
	360	1.29	-235	86.97	0.03
	390	1.29	-245	87.21	0.26
	420	1.29	-247	88.52	0.08
	450	1.29	-278	87.72	0.21
	480	1.29	-350	87.59	0.03
	510	1.29	-380	88.22	0.05
	540	1.29	-388	88.65	0.25
	570	1.29	-400	87.79	0.37
	600	1.29	-428	75.07	0.08
	630	1.29	-438	69.66	0.14

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตควบคุมด้วยค่า ORP โดยใช้ค่า ORP ในช่วง -300 ถึง -330 mV (หัวข้อ 4.2.2.3)

date	Time (min)	ORP (mV)	Nitrate Treatment (%)	SD
26/11/2003	0	-302	32.02	0.09
	10	-271	42.39	0.00
	20	-254	37.08	0.20
	30	-240	22.50	0.05
	40	-231	21.31	0.05
	50	-226	72.72	0.00
	60	-227	78.84	0.14
	70	-229	80.66	0.00
	80	-239	87.79	0.07
	90	-245	89.30	0.07
	100	-297	89.27	0.06
	110	-335	88.56	0.01
	120	-349	89.08	0.01
	130	-361	89.31	0.03
	140	-364	89.10	0.25
	150	-369	89.18	0.00
	160	-344	64.29	0.00
170	-297	26.44	0.30	

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตควบคุมด้วยค่า ORP โดยใช้ค่า ORP ในช่วง -310 ถึง -320 mV (หัวข้อ 4.2.2.3)

date	Time (min)	ORP (mV)	Nitrate Treatment (%)	SD
12/11/2003	0	-309	36.85	0.81
	10	-279	24.21	0.09
	20	-257	20.49	0.00
	30	-244	19.81	0.00
	40	-236	21.65	0.07
	50	-240	85.07	0.01
	60	-253	84.54	0.01
	70	-310	87.54	0.00
	80	-320	88.07	0.02
	90	-340	87.12	0.03
	100	-356	87.58	0.09
	110	-371	87.40	0.01
	120	-366	88.29	0.02
	130	-317	43.72	0.05
140	-327	27.79	0.20	

ตารางที่ 12 การควบคุมการเติมเมธานอลด้วยระบบอัตโนมัติโดยใช้ค่า ORP ในช่วง -310 ถึง -320 mV (หัวข้อ 4.2.2.4)

date	Time (min)	ORP (mV)	Nitrate Treatment (%)	SD
12/11/2003	0	-309	36.85	0.81
	10	-279	24.21	0.09
	20	-257	20.49	0.00
	30	-244	19.81	0.00
	40	-236	21.65	0.07
	50	-240	85.07	0.01
	60	-253	84.54	0.01
	70	-310	87.54	0.00
	80	-320	88.07	0.02
	90	-340	87.12	0.03
	100	-356	87.58	0.09
	110	-371	87.40	0.01
	120	-366	88.29	0.02
	130	-317	43.72	0.05
	140	-327	27.79	0.20

ตารางที่ 13 การควบคุมการเติมเมธานอลด้วยเครื่องตั้งเวลาโดยใช้ค่า ORP ในช่วง -310 ถึง -320 mV (หัวข้อ 4.2.2.4)

date	Time (min)	ORP (mV)	Nitrate Treatment (%)	SD
7/2/2004	0	-253	1.87	0.11
	14	-225	1.94	0.19
	29	-209	1.62	0.23
	44	-194	6.58	0.19
	59	-212	35.08	0.07
	74	-245	74.81	0.00
	89	-247	78.20	0.05
	98	-289	82.03	0.02
	113	-317	79.04	0.06
	128	-334	78.71	0.20
	143	-346	65.60	0.04
	158	-306	16.54	0.26
	173	-287	4.06	0.32
	193	-253	1.89	0.11



ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ผลผลิตจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในชุดควบคุม (หัวข้อ 4.2.3)

วันที่ (วัน/เดือน/ปี)	เวลา (วัน)	จำนวนกุ้ง (ตัว)			น้ำหนักรวม		น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)				ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)				ปริมาณอาหารที่กุ้งบริโภค (กรัม)
		จำนวนกุ้งทั้งหมด	เพศผู้	เพศเมีย	(กรัม)	เพศผู้	SD	เพศเมีย	SD	เพศผู้	SD	เพศเมีย	SD		
14/8/2003	0	50	21	29	1202.30	23.18	3.27	24.67	6.37	11.10	2.24	11.71	0.94	368.01	
14/9/2003	31	50	21	29	1238.80	23.67	3.35	25.59	6.23	11.62	0.55	11.86	0.89		
14/10/2003	61	47	19	28	1342.40	26.76	3.51	29.78	6.23	12.05	0.52	12.46	0.80		
30/10/2003	77	46	18	28	1428.90	29.42	3.39	32.12	6.21	12.51	0.53	12.79	0.78	1695.20	
1/12/2003	108	45	17	28	1542.70	31.16	5.70	36.18	7.41	15.13	6.94	13.36	0.86	1045.10	
29/12/2003	136	41	16	25	1501.50	33.99	4.83	38.31	8.88	13.13	0.58	13.68	0.92	769.79	
3/2/2004	169	35	13	22	1471.70	37.58	3.87	44.69	10.99	13.68	0.55	15.40	4.89	907.75	
1/3/2004	196	27	8	19	1336.90	40.85	6.39	53.16	15.08	13.80	0.74	15.08	0.93	720.68	
20/3/2004	210	19	5	14	1206.90	54.94	5.34	66.24	7.20	15.06	0.54	15.80	0.63	286.96	

ตารางที่ 2 ผลผลิตจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในทดลอง (หัวข้อ 4.2.3)

วันที่ (วัน/เดือน/ปี)	เวลา (วัน)	จำนวนกุ้ง (ตัว)			น้ำหนักรวม		น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)				ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)				ปริมาณอาหารที่กุ้งบริโภค (กรัม)
		จำนวนกุ้งทั้งหมด	เพศผู้	เพศเมีย	(กรัม)	เพศผู้	SD	เพศเมีย	SD	เพศผู้	SD	เพศเมีย	SD		
14/8/2003	0	50	27	23	1232.70	23.62	6.84	25.87	8.68	11.57	1.07	11.77	1.35	352.69	
14/9/2003	31	49	27	22	1193.80	24.00	6.00	24.80	8.97	11.71	0.98	11.89	1.09		
14/10/2003	61	47	25	22	1365.40	27.75	5.60	30.53	7.64	12.33	0.87	11.68	3.07		
30/10/2003	77	45	25	20	1427.12	30.55	5.72	33.16	8.15	12.80	0.80	12.98	1.12	1940.80	
1/12/2003	108	41	22	19	1510.20	35.02	5.57	38.94	8.19	13.42	0.69	13.77	0.97	1141.36	
29/12/2003	136	41	2	19	1611.80	37.57	5.95	41.72	8.14	13.74	0.57	14.08	0.94	794.61	
3/2/2004	169	35	20	15	1520.10	41.05	7.63	46.61	8.85	14.12	0.79	14.62	0.96	968.83	
1/3/2004	196	32	17	15	1550.70	44.16	11.25	14.48	0.78	51.33	9.95	14.93	0.93	808.48	
20/3/2004	210	27	15	12	1574.60	55.23	9.95	62.22	15.31	14.73	0.98	15.31	1.01	286.96	

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิลาสินี ไตรยราช เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ.2520 ที่จังหวัดนครพนมได้รับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 จากโรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จากมหาวิทยาลัยรามคำแหงในปีการศึกษา 2543 และได้รับคัดเลือกเข้ารับการศึกษต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 โดยขณะที่ศึกษา ได้รับทุนพัฒนาบุคลากรระดับปริญญาโท-เอก สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ประจำปี 2546 ของศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ งานวิจัยนี้ได้มีการเผยแพร่ โดยเสนองานวิจัยในแบบบรรยายเรื่อง สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดไนเตรทในน้ำทะเลด้วยระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาว ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 วันที่ 20-22 ตุลาคม 2546 ณ ศูนย์ประชุมอเนกประสงค์กาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น และได้มีการเสนอผลงานแบบบรรยาย เรื่องระบบบำบัดไนเตรทโดยใช้ถังปฏิกรณ์ดีไนตริฟิเคชันแบบท่อยาวสำหรับบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำระบบปิดในโรงเรือน ในการประชุมวิชาการกุ้งทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 5 วันที่ 29-30 มีนาคม 2547 ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพมหานคร จัดโดยโครงการเทคโนโลยีชีวภาพกุ้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ กรมประมง สมาคมผู้เลี้ยงกุ้งไทย และสมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย